

**PENGEMBANGAN MODEL KOMPOSIT DARI GRAPHENE DENGAN  
POLIETILENA SEBAGAI BAHAN DASAR ROMPI ANTI PELURU MELALUI  
METODE KOMPUTASI**

**COMPOSITE MODEL DEVELOPMENT FROM GRAPHENE WITH POLYETHYLENE  
AS THE BASIC MATERIAL OF BULLETPROOF VEST USING COMPUTATIONAL  
METHODS**

**Ari Wieliyani dan I Gusti Made Sanjaya\***

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
State University of Surabaya

Jl. Ketintang Surabaya (60231), telp 031-8298761

\*Corresponding author, email : igmasanjaya@unesa.ac.id

**Abstrak.** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model komposit dari graphene dan polietilena serta mengetahui kekuatannya terhadap peluru. Pemodelan komposit menggunakan perangkat lunak AVOGADRO dan untuk perhitungan komputasi terhadap model menggunakan perangkat lunak SIESTA. Simulasi ketahanan terhadap peluru dilakukan dengan menggunakan sub software dari ANSYS. Hasilnya menunjukkan bahwa model komposit yang mampu bertahan dari tembakan peluru adalah graphene 60% dan graphene 70%. Simulasi dilakukan dengan ketebalan komposit awal 1 mm dengan peluru berkecepatan awal 600 m/s dan bermassa 50 gram. Selanjutnya dilakukan variasi dengan ketebalan 4, 7, 10, dan 13 mm pada model komposit dan digunakan peluru berkecepatan 1200 m/s dengan massa 50 gram. Hasil menunjukkan bahwa model komposit dengan ketebalan 13 mm dapat menahan peluru dengan kecepatan 1200 m/s.

**Kata Kunci** : Graphene, Polietilena, AVOGADRO, SIESTA, ANSYS

**Abstract** The purposes of this research is model composite development from graphene and polyethylene as well as knowing it's strength against bullets. Modelling of composite used AVOGADRO software and for computational calculation used SIESTA software. Bullets resistance simulation performed by ANSYS software. Results showed the composite model that withstand from bulletshot is graphene 60 % and graphene 70%. Simulation performed used 1 mm thickness of composite with 600 m/s bullets speed and 50 gram mass. Then simulation performed by used thickness variation 4, 7, 10, 13 mm to composite model and used 1200 m/s bullets velocity with 50 gram mass. results showed the composite model with 13 mm thickness can withstands the bullets.

**Keywords** : Graphene, Polyethylene, AVOGADRO, SIESTA, ANSYS

## PENDAHULUAN

Baju zirah merupakan pakaian perang dengan tujuan untuk memberi perlindungan terhadap senjata. Pada perang dunia pertama pasukan kekaisaran Jerman menggunakan baju zirah yang terbuat dari logam atau baja sebagai rompi anti peluru. Hingga perang dunia kedua, rompi anti peluru masih terbuat dari logam atau baja. Para pembuat senjata yang melakukan perkembangan senjata, memaksa penggunaan rompi anti peluru dengan bahan metal yang lebih tebal dan berat. Rompi anti peluru

tradisional yang terbuat dari bahan metal dapat mengurangi mobilitas penggunaannya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam penemuan material baru, baju rompi anti peluru dapat diproduksi dengan bahan yang lebih ringan seperti kulit atau kevlar. Pada saat ini telah banyak dipelajari tentang material pengganti untuk membuat baju anti peluru yang tipis dan ringan. Rompi anti peluru banyak digunakan oleh personil militer, untuk menjaga keselamatan dari serangan proyektil dan

sebaran material ledakan. Selain itu, rompi anti peluru tersebut juga mencegah perpindahan energi dari proyektil terhadap tubuh khususnya di bagian dada, perut, dan punggung.

Kemajuan dalam perlindungan personal terhadap ancaman balistik telah dicapai dengan diperkenalkannya serat sintetis Kevlar. Selain itu, salah satu bahan yang menjanjikan untuk pembuatan komposit polimer ultra-kuat karena sifat mekaniknya yang luar biasa adalah *graphene*[1]. Telah diketahui dengan baik bahwa *graphene* memiliki modulus Young dan kekuatan tarik di atas 1 Tera pascal [2]. Berbagai komposit yang terbuat dari *graphene* akhir – akhir ini menjadi subjek yang intensif dalam penelitian dan pengembangan teknologi selama beberapa tahun terakhir [3]. Pemanfaatan *graphene* sebagai bahan perlindungan dapat dilakukan dengan pembuatan komposit.

Komposit didefinisikan sebagai material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing – masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat- sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan. Penggunaan *Graphene* sebagai penyusun komposit dapat dipadukan dengan polimer lain. Pada penelitian ini digunakan polietilena sebagai polimer lain yang menyusun komposit bersama dengan *graphene*.

Polimer yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Ultra High Molecular Weight polyethylene* (UHMWPE). *Ultra High Molecular Weight polyethylene* diklasifikasikan sebagai homopolimer liner, yang berarti bahwa monomer dalam materi semuanya sama. Polietilena pada dasarnya adalah polimer yang terbentuk dari etilen ( $C_2H_4$ ). Melihat dari struktur *Ultra High Molecular Weight polyethylene*, rantai molekulernya dapat terdiri dari 200.000 unit etilen berulang. Setiap berat molekul masing-masing beratnya kurang dari 50.000 g / mol dan susunan rantai molekulernya dapat bercabang dan linier [4].

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode komputasi. Perangkat lunak yang akan digunakan adalah VESTA, SIESTA, dan ANSYS AUTODYN. VESTA adalah perangkat lunak visualisasi 3D untuk menentukan struktur model, data volumetric seperti densitas elektron dan morfologi kristal. perangkat lunak ini dapat digunakan untuk memvisualisasi model komposit yang akan digunakan pada penelitian ini. Setelah itu hasil visualisasi model komposit dilakukan perhitungan komputasinya dengan menggunakan perangkat lunak SIESTA. Perangkat lunak ini dapat mengimplementasikan perhitungan struktur elektronik dan simulasi DFT molekul dan padatan. Hasil komputasi DFT meramalkan energi berkaitan dengan kerapatan elektron suatu molekul, selain itu juga didapat koordinat kartesian yang menunjukkan koordinat dari masing-masing atom dalam setiap molekul, panjang ikatan, sudut ikatan, maupun panjang ikatan aktual dan optimal dari tiap struktur[6]. Hasil perhitungan model komposit selanjutnya dilakukan simulasi ketahanan balistiknya dengan menggunakan software ANSYS AUTODYN.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi perangkat keras dengan prosesor APU AMPD A8-4500 CPU @1.90Ghz RAM 8 GB Sistem operasi Linux 64 bit, perangkat lunak ANSYS Workbench, SIESTA, dan AVOGADRO dan bahan yang digunakan meliputi model bentuk struktur dari *graphene* dan polietilena.

## PROSEDUR PENELITIAN

### a. Pemodelan Model Komposit *Graphene* dengan Polietilena

Pemodelan komposit digunakan software AVOGADRO. Dilakukan optimasi geometri untuk mendapatkan kestabilan geometri. Data pada pemodelan yang digunakan adalah koordinat kartesian.

### b. Perhitungan Komputasi Model Komposit *Graphene* dengan Polietilena

Simulasi perhitungan digunakan perangkat lunak SIESTA dengan menggunakan metode DFT. Pada perhitungan komputasi ini untuk mendapatkan Stress Tensor dan Strain Tensor.

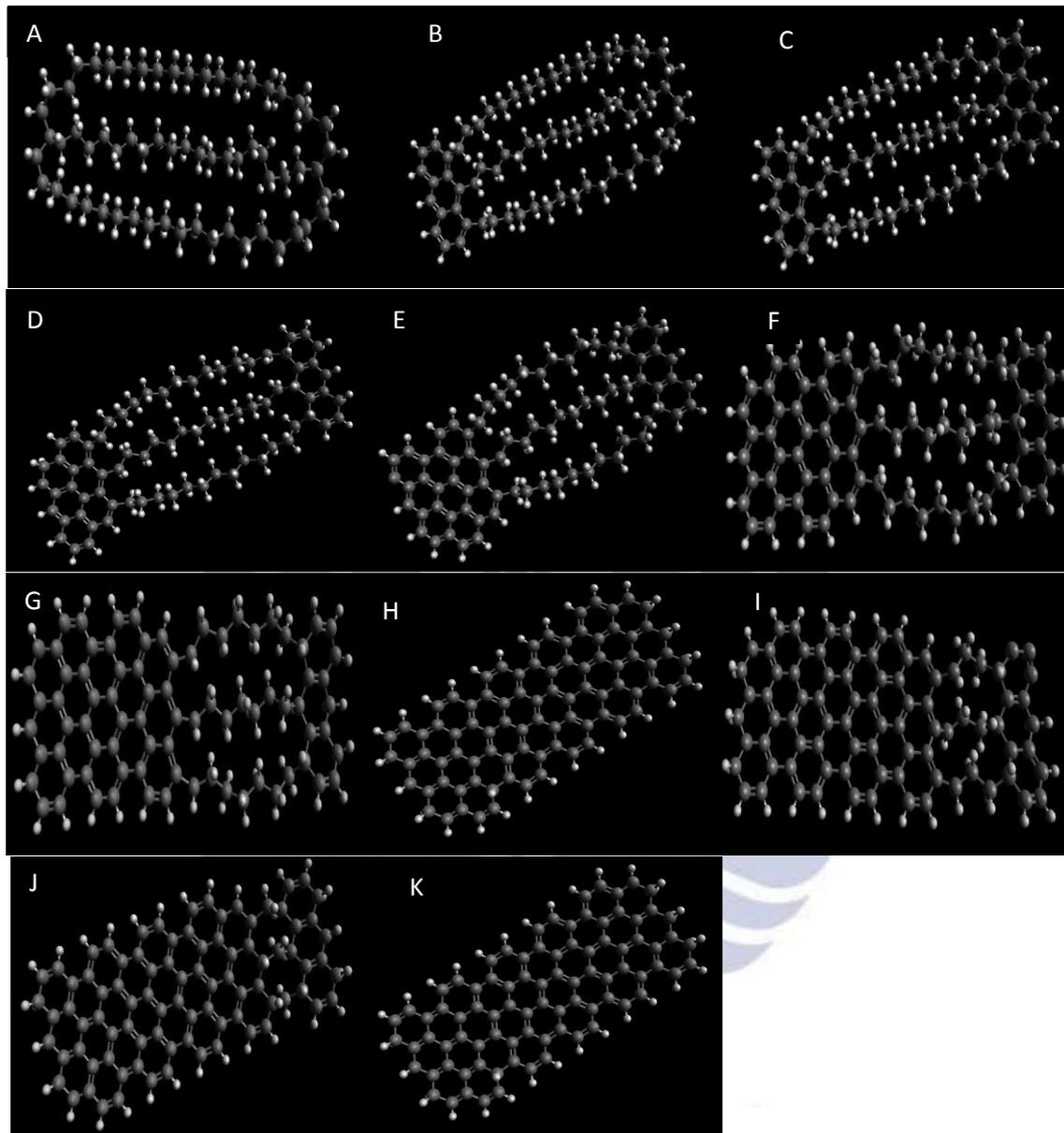
### c. Simulasi Kekuatan Model Komposit dengan uji Balistik

Simulasi balistik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS dengan *Explicit Dynamic*.

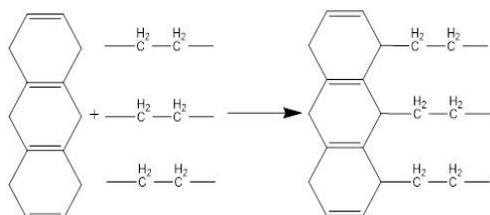
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**a. Pemodelan model Komposit *Graphene* dengan Polietilena**

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AVOGADRO dan didapatkan model komposit sebagai berikut :



Gambar 1. [A] polietilena, [B] *Graphene* 10%, [C] *Graphene* 20%, [D] *Graphene* 30%, [E] *Graphene* 40%, [F] *Graphene* 50%, [G] *Graphene* 60%, [H] *Graphene* 70% [I] *Graphene* 80%, [J] *Graphene* 90%, [K] *Graphene* 100%.



Gambar 2. Reaksi antara *graphene* dengan polietilena

Pada reaksi diatas menunjukkan proses terbentuknya ikatan antara *graphene* dengan polietilena. Ikatan yang

terjadi pada reaksi di atas adalah ikatan van der Waals. Ikatan ini terbentuk karena adanya ikatan C – C pada *graphene* dan polietilena. ikatan van der Waals pada polietilena cenderung lemah untuk setiap atom tumpang tindih. Namun, karena polietilena molekul polietilena yang sangat panjang sehingga terjadi tumpang tindih yang cukup besar. Tumpang tindih yang besar ini dapat menambahkan kemampuan untuk membawa kekuatan geser yang lebih besar dari molekul satu ke molekul yang lain. Setiap rantai akan terikat pada rantai yang lainnya dengan banyaknya ikatan *van der Waals* yang menyebabkan seluruh kekuatan ikatan intermolekul besar. Pemodelan pada penelitian ini dilakukan untuk mendapat koordinat kartesius pada komposit yang digunakan untuk mendapatkan informasi letak atom pada model komposit sehingga dapat digunakan untuk perhitungan komputasi.

#### b. Perhitungan Komputasi Model Komposit *Graphene* dengan Polietilena

Pada tahap ini digunakan SIESTA code untuk menghitung *elastic modulus* dengan memecahkan persamaan mekanika kuantum elektronik menggunakan pendekatan *Density Functional theory* [5]. *Density Functional Theory* atau DFT digunakan karena dapat memodelkan sistem molekul dengan akurat dan memberikan data dalam tingkat mikroskopik yang berkorelasi signifikan dengan hasil eksperimen laboratorium [7]. *Elastic modulus* didapatkan dengan memplotkan hubungan antara *stress* dan *strain* pada perangkat lunak SIESTA [8]. Pada perangkat lunak SIESTA, data yang disajikan berupa *stress tensor matrix*. *Strain tensor matrix* dapat diperoleh dengan melakukan relaksasi sistem. Kemudian dilakukan deformasi *lattice vector* untuk mendapatkan nilai dari *strain tensor*. *Lattice vector* dideformasi dengan memberikan regangan pada *lattice vector* sebesar 1%.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

Gambar 3. *Stress tensor matrix*

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

Gambar 4. *Strain tensor matrix*

Model komposit pada penelitian ini bersifat isotropik sehingga mengalami tegangan satu arah atau *uniaxial tension*. *Uniaxial tension* adalah tegangan yang bekerja pada suatu benda dimana gaya yang bekerja hanya terjadi dalam satu arah. *Elastic modulus* dalam tegangan dapat disebut juga dengan modulus young. Modulus young disebut juga dengan modulus tarik yaitu ukuran kekakuan suatu bahan elastis yang merupakan ciri dari suatu bahan. Modulus young didefinisikan sebagai rasio tegan dalam sistem koordinat kartesius terhadap regangan sepanjang aksis pada jangkauan tegangan dimana hukum hooke berlaku.

Modulus young didapatkan melalui persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma_{xx}}{\epsilon_{xx}} \quad (1)$$

Selain modulus young, didapatkan data berupa poisson's ratio ( $\nu$ ) melalui persamaan berikut

$$\nu = \frac{\epsilon_{yy}}{\epsilon_{xx}} \quad (2)$$

Poisson ratio adalah ukuran kompresibilitas sebuah benda yang tegak lurus dengan *stress* atau perbandingan *strain* latitudinal dengan *strain* longitudinal. Dari persamaan modulus young dan poisson ratio yang telah didapatkan, maka dapat dicari persamaan untuk *bulk modulus* (K) dan *shear modulus* (G) melalui persamaan berikut

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

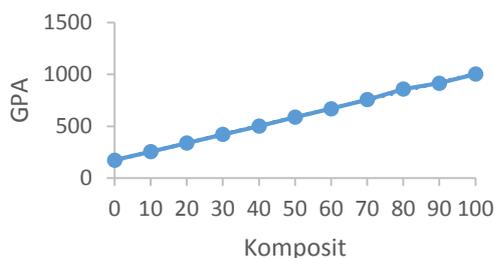
*Bulk modulus* menjelaskan mengenai elastisitas volumetrik, atau kecenderungan suatu benda untuk berubah bentuk ke segala arah ketika diberi tegangan seragam ke segala arah. *Shear modulus* menjelaskan mengenai kecenderungan sebuah objek untuk bergeser (deformasi bentuk pada volume konstan) ketika diberi

kekuatan yang berlawanan. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan data pada tabel 1

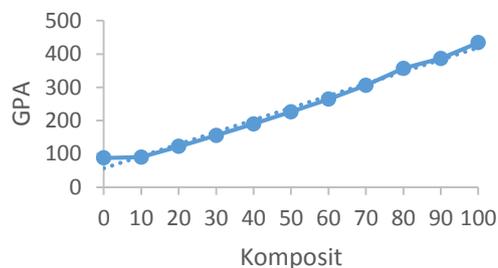
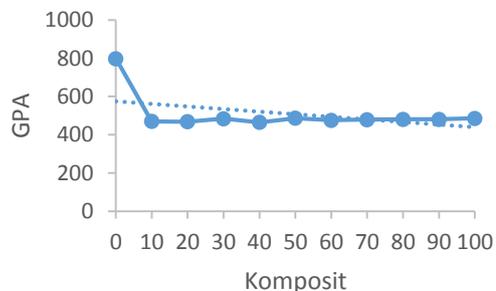
11. <i>Graphene</i>	1002,7179	433,7	485,8	0,156
				100%

Tabel 1. *elastic Constant* model komposit  
 Dari data tabel diatas dapat dibuat grafik untuk E, G, K, dan  $\nu$  sebagai berikut

No.	Komposit	E (Gpa)	G (Gpa)	K (Gpa)	$\nu$
1.	polietilen	172,65	87,7	798,1	0,447
a					
2.	<i>Graphene</i> 10%	253,79	90	470	0,41
3.	<i>Graphene</i> 20%	337,35	122,2	468,5	0,38
4.	<i>Graphene</i> 30%	420,57	155,2	484,4	0,3553
5.	<i>Graphene</i> 40%	501,25	189,8	464,9	0,3203
6.	<i>Graphene</i> 50%	587,29	226,1	486,7	0,2989
7.	<i>Graphene</i> 60%	669,13	264,3	476,2	0,2658
8.	<i>Graphene</i> 70%	756,4	305,8	479,2	0,2369
9.	<i>Graphene</i> 80%	857,92	356,6	481,1	0,2028
10.	<i>Graphene</i> 90%	914,3	386,4	480,7	0,183

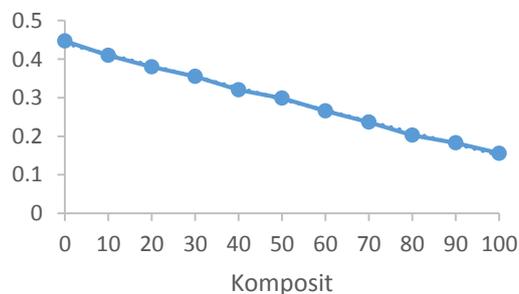


Gambar 5. Grafik modulus Young



Gambar 6. Grafik *shear modulus*  
 Gambar 7. Grafik *bulk modulus*

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *bulk modulus* (K) menunjukkan hasil yang tidak beraturan. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh tegangan dan regangan yang diberikan pada saat perhitungan. Tegangan dan regangan tidak selalu tegak lurus dan hubungan tegangan dan regangan ini dapat disebut juga non-



Gambar 8. Grafik *poission ratio*

dan ketika nilai tegangan naik maka

hubungan nya tidak linear lagi sehingga hukum hooke tidak berlaku. Dari hasil simulasi perhitungan yang telah dilakukan dapat dibandingkan data yang diperoleh dengan data peneliti sebelumnya untuk *graphene* pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil dari modulus young untuk *graphene*

Referensi	Metode	Modulus Young (Tpa)
Lee [12]	<i>Experiment</i>	1,0 ± 0,1
Lu[13]	<i>Molecular dynamics</i>	0,974
Kudin[4]	<i>Ab initio</i>	1,02
Liu[20]	<i>Ab initio</i>	1,05
Shokrieh[24]	<i>Continuum model</i>	1,04
Yanosvky[26]	<i>Quantum mechanics</i>	0,737
Georgantzino[30]	<i>Finite element method</i>	1,367

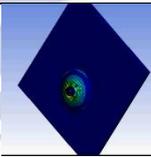
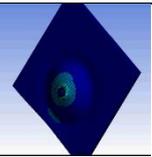
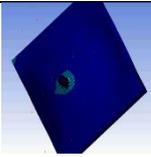
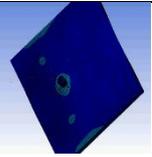
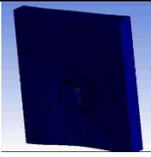
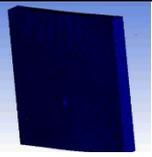
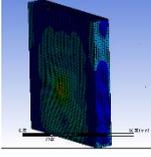
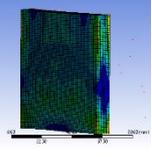
Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa perhitungan yang didapatkan dalam penelitian ini mendekati dengan referensi dari peneliti sebelumnya dengan *range* modulus young berkisar antar 0,737 Tpa hingga 1,367 Tpa.

### c. Simulasi Kekuatan Komposit dengan Uji Balistik

Simulasi awal dilakukan dengan menggunakan peluru berkecepatan 600 m/s. analisis dilakukan secara visual dengan melihat ketahanan model komposit dari hasil uji balistik yang telah dilakukan. Ketebalan awal pada model komposit adalah 1 mm. peluru yang ditembakkan memiliki massa 50 gram Hasil simulasi didapatkan bahwa model komposit yang bertahan dari uji balistik adalah model komposit dengan komposisi *graphene* 60% dan *graphene* 70%. Ketiga model komposit ini dapat bertahan dikarenakan perpaduan antara kekakuan dan elastisitas dari material. Material *graphene* memiliki

sifat yang lebih kaku sedangkan material polietilena memiliki sifat yang lebih elastis. Keduanya saling menutupi kekurangan dengan tetap menjaga kekuatan dari *graphene* dan dibantu dengan elastisitas yang terdapat pada polietilena. komposisi *graphene* 60% dan *graphene* 70%. menunjukkan dimana komposisi tersebut merupakan komposisi yang ideal. Dari kedua model yang bertahan melalui uji simulasi awal, dilakukan pengujian balistik menggunakan variasi ketebalan model komposit dengan peluru berkecepatan 1200 m/s bermassa 50 gram. Variasi ketebalan yang dilakukan adalah 4, 7, 10, dan 13 mm. Peluru berkecepatan 1200 m/s merupakan kecepatan tercepat untuk peluru yang dapat ditembakkan oleh senjata api saat ini. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan data pada tabel 3

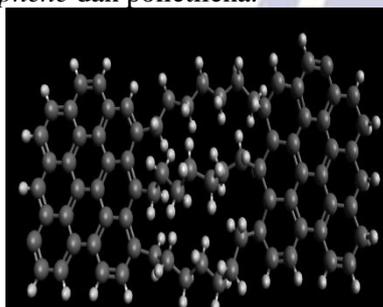
Tabel 3. Variasi ketebalan model komposit dengan peluru berkecepatan 1200 m/s

Variasi Ketebalan (mm)	<i>Graphene</i> 60 %	<i>Graphene</i> 70 %
4		
7		
10		
13		

Dari tabel 3 semakin besar ketebalan dari model komposit menunjukkan penetrasi dari peluru yang terjadi semakin kecil. Pada ketebalan 13 mm menunjukkan peluru berkecepatan 1200 m/s tidak dapat menembus model komposit. Penebalan pada model komposit dapat mengurangi deformasi yang diakibatkan laju proyektil agar tidak menembus tebal model komposit.

**d. Blending komposit**

Pada model komposit yang telah didapatkan dibandingkan dengan hasil yang sudah di *blended* antara *graphene* dengan polietilena hal ini dikarenakan model komposit yang telah dilakukan perhitungan masih bersifat homogen sehingga kekuatan yang didapatkan tidak merata dari hasil pembuatan komposit dari *graphene* dan polietilena.



Gambar 9. *blended* komposit

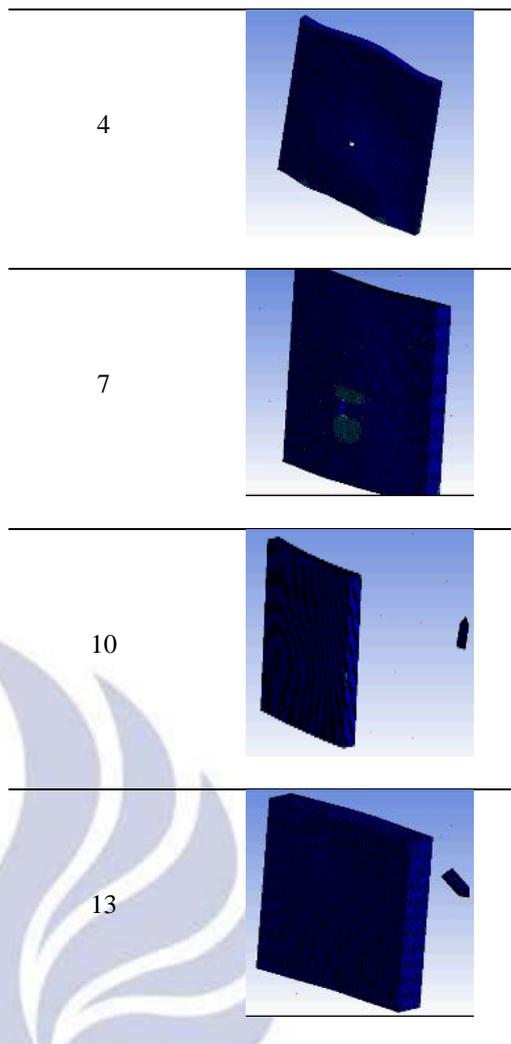
data yang didapatkan dari hasil *blended* komposit antara *graphene* dengan polietilena pada tabel 4

Tabel 4 Hasil perhitungan *elastic constant* dari komposit yang telah di *blended*

E (Gpa)	G (Gpa)	K (Gpa)	$\nu$
717,34	296,42	412,26	0,21

Tabel 5 variasi ketebalan komposit dari *blended graphene*

Variasi Ketebalan (mm)	Blend komposit



Dari hasil uji balistik yang telah dilakukan bahwa komposit yang telah di *blended* memiliki hasil yang tidak jauh berbeda dengan model *graphene* 60% dan *graphene* 70%.

**SIMPULAN**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Model *graphene* murni mengalami *cracking* dan tidak cukup kuat dalam menahan peluru dengan kecepatan 600 m/s.
2. model komposit *graphene* 60% dapat menahan peluru dengan kecepatan 600 m/s.
3. model komposit *graphene* 70% dapat menahan peluru dengan kecepatan 600 m/s.
4. model komposit *blended* dapat menahan peluru dengan kecepatan 600 m/s.
5. polietilena dapat menutupi kelemahan *graphene* yang mudah mengalami *cracking* saat dikenai tembakan peluru.

6. *Graphene 60%, Graphene 70%* dan komposit *blended* dapat menahan kekuatan peluru berkecepatan 1200 m/s pada ketebal model komposit 13 mm.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Bernholc, J. 2002. Mechanical and Electrical Properties of Nanotubes. *Annual Review Material Research*, 347-375.
2. Fischer, H. 2003. Polymer Nanocomposites From Fundamental Research to Specific Applications Material Science and Engineering. C, 763-772.
3. Hussain, F. 2006. Review Article: Polymer-Matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing and application. *Journal of Composite Material*, 40.
4. Kurtz, S. M., Pruitt, L., Jewett, C. W., Crawford, R. P., Crane, D. J., & Edidin, A. A. 1998. The Yielding Plastic Flow and Fracture Behaviour of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Used in Total Joint Replacement. *Journal of Biomaterials*, Vol. 19.

5. Perdew, J. P., Burke, K., & Zunger, A. 1996. *Phys. Rev. Lett.*, 77 3865.

6. Rahman, A. Z., & Sanjaya, I. 2012. Rasionalisasi Jalur Sintesis Laevifonol dari trans-Resveratrol dengan menggunakan teori fungsional kerapatan (DFT). *UNESA Journal of Chemistry Vol. 1, No. 1*.

7. Amalia, R., & Sanjaya, I. 2016. Karakterisasi Teoritis Semi Konduktor Silicon Nanotube ArmChair Menggunakan Metode DFT. *Unesa Journal of Chemistry*.

8. Y, L. P., & P, S. 2001. *Phys. Rev. B*. 63, 134112.1-134112.12.

