

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAFENA - POLIURETAN SERTA
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ROMPI ANTI PELURU**

***SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF GRAPHENE -
POLYURETHANE AND ITS POTENTIAL AS BULLETPROOF
VEST MATERIAL***

SURYA PRANOWO

H012181001



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAFENA - POLIURETAN SERTA
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ROMPI ANTI PELURU**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Kimia

Disusun dan diajukan oleh :

SURYA PRANOWO

Kepada

**PROGAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAFENA-POLIURETAN SERTA POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ROMPI ANTI PELURU

Disusun dan diajukan oleh :

SURYA PRANOWO
Nomor Pokok : H012181001

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada Tanggal 28 Januari 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat



Menyetujui,
Komisi Penasehat



Dr. Maming, M.Si
Ketua

Ketua Program Studi
Magister Kimia,

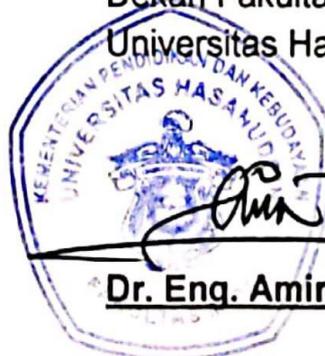


Dr. Hasnah Natsir, M.Si



Dr. Indah Raya, M.Si
Anggota

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin,



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Surya Pranowo
Nomor Mahasiswa : H012181001
Program Studi : Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Januari 2021
Yang menyatakan



Surya Pranowo

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat dan hidayah, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini, yang berjudul “**Sintesis Dan Karakterisasi Grafena - Poliuretan Serta Potensinya Sebagai Material Rompi Anti Peluru**” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains. Sholawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad S.A.W.

Kepada kedua orang tua tercinta, ayahanda **H. Sukirno (Alm)** dan ibunda **Hj. Susilowati**, terima kasih untuk setiap semangat dan doa yang senantiasa diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada isteri tercinta **Wiwini Eka Pujiastuti** dan anak terkasih **Muhammad Azka Prawika dan Rafaizan Prawika Manaf**, yang selalu memberikan motivasi, semoga Allah senantiasa melindungi dan memberikan jalan keberkahan, Aamiin.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan tesis ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih, khususnya kepada **Dr. Maming, M.Si dan Dr. Indah Raya, M.Si** selaku dosen pembimbing, yang dengan penuh kesabaran dan keikhlasan memberikan bimbingan serta pengarahan dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc., Dr. Abdul Karim, M.Si., dan Dr. Siti Fauziah, M.Si.**, selaku komisi penilai, yang telah memberikan masukan demi penyempurnaan penulisan tesis.
2. **Dr. Hasnah Natsir, M.Si**, selaku ketua program studi ilmu kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan motivasi dan bantuan,
3. Dekan Fakultas MIPA, Ketua Jurusan Kimia FMIPA, dan seluruh dosen Kimia pascasarjana Universitas Hasanuddin, yang telah membagi ilmunya, serta seluruh staf Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dan penyusunan tesis,
4. **Kepala Pusat Laboratorium Forensik Bareskrim Polri** beserta seluruh staff Puslabfor, yang telah memberikan beasiswa kedinasan kepada penulis dan membantu dalam proses pengujian selama penelitian,
5. **Kepala Bidang Laboratorium Forensik Polda Sulawesi Selatan** beserta seluruh staff, yang telah memberikan izin dan membantu selama proses perkuliahan maupun penelitian,
6. Pak **Irsan** selaku staff Program Studi S2 Kimia, yang selalu membantu dalam penyelesaian administrasi.
7. Teman-teman yang termasuk dalam Himpunan Mahasiswa Pasca

Sarjana Kimia Unhas dan teman-teman seperjuangan Kimia Pascasarjana angkatan 2018: **Rafsanjany Ramadhan, Yusriadi, Marinda, Nada Pertiwi, Nurul Khaerah, Andi Fikrah A, Mifta Huljannah, Asriani Hayatun, Nur Afni, Felly Cytae E. A, Septaria Yolan K, Nur Awalia, Adji Permatasari, Musrifa Tahar, dan Sulfitri Nahrin**, yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama perkuliahan ataupun penelitian.

8. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama menyelesaikan penelitian.

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak sempurna dan banyak kekurangan, baik materi maupun teknik penulisannya. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritikan yang bersifat membangun dari pembaca, dan semoga dapat memberikan manfaat bagi siapa saja dalam pengembangan ilmu pengetahuan bidang anorganik terkhusus grafena.

Terima kasih

Makassar, Januari 2021
Penulis

Surya Pranowo

ABSTRAK

SURYA PRANOWO: Sintesis Dan Karakterisasi Grafena - Poliuretan Serta Potensinya Sebagai Material Rompi Anti Peluru
(dibimbing oleh: Dr. Maming, M.Si dan Dr. Indah Raya, M.Si)

Grafena merupakan material yang sangat kuat dan dapat disintesis dari grafit komersil yang banyak tersedia namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis grafena dari grafit komersil dengan menggunakan metode Hummers dan membuat komposit grafena - poliuretan pada beberapa variasi konsentrasi penambahan grafena serta melihat potensinya sebagai material rompi anti peluru. Grafit dioksidasi menjadi grafit oksida, selanjutnya dilakukan ultrasonikasi untuk memisahkan grafit oksida menjadi lembaran-lembaran grafena oksida, dan direduksi menjadi grafena dengan menggunakan Zn. Pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR, menunjukkan bahwa serapan pada panjang gelombang $1568,13\text{ cm}^{-1}$ yaitu ikatan C=C aromatik. Hasil uji dengan XRD menunjukkan bahwa grafena dengan sudut 2θ pada $23,71^\circ$ dengan *d-spacing* $3,74\text{ \AA}$ cenderung memiliki fasa *amorf*. Sedangkan pengujian dengan SEM EDX memperlihatkan bahwa morfologi permukaan grafena menyerupai lembaran-lembaran halus dan berbentuk heksagonal, serta terdapat unsur C sebesar 70,29%. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi penambahan grafena, maka kekuatan dan ketahanannya juga ikut meningkat. Uji balistik memperlihatkan material komposit grafena - poliuretan dengan konsentrasi lebih dari 1% mampu menahan hantaman proyektil peluru jenis pistol kaliber 0,22 inchi sehingga material komposit grafena – poliuretan berpotensi diaplikasikan sebagai material rompi anti peluru.

Kata kunci: Grafena, grafit komersil, material, rompi anti peluru.

ABSTRACT

SURYA PRANOWO: *Synthesis and Characterization of Graphene - Polyurethane and Its Potential as Bulletproof Vest Material*
(supervised by: Dr. Maming, M.Si and Dr. Indah Raya, M.Si)

Graphene is a very strong material and can be synthesized from commercial graphite which is widely available but has not been fully utilized. This study aims to synthesize graphene from commercial graphite using the Hummers method and make graphene-polyurethane composites at various concentrations of added graphene and see its potential as a bulletproof vest material. Graphite is oxidized to graphite oxide, then ultrasonication is carried out to separate the graphite oxide into sheets of graphene oxide, and it is reduced to graphene using Zn. Testing the functional group using FTIR, shows that the absorption at a wavelength of 1568.13 cm^{-1} is the aromatic C = C bond. The XRD test results showed that graphene with an angle of 2θ at 23.71° with d-spacing 3.74 Å tended to have an amorphous phase. While testing with SEM EDX shows that the surface morphology of graphene resembles smooth sheets and is hexagonal in shape, and there is a C element of 70.29%. The test results for compressive strength and tensile strength show that the greater the concentration of added graphene, the strength and resistance also increase. Ballistic tests show that the graphene - polyurethane composite material with a concentration of more than 1% is able to withstand the impact of a 0.22 inch caliber gun bullet projectile so that the graphene - polyurethane composite material has the potential to be applied as a bulletproof vest material.

Keywords: Graphene, commercial graphite, material, bulletproof vest.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PRAKATA	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan masalah	4
C. Tujuan	4
D. Manfaat penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Grafena	6

B. Grafit Oksida	8
C. Grafit	9
D. Polimer	10
E. Rompi Anti Peluru	14
F. Uji Balistik	18
G. Kerangka Pikir	19
H. Hipotesis	21

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan tempat penelitian	22
B. Alat dan bahan	
1. Alat	22
2. Bahan	22
C. Prosedur penelitian	23
1. Sintesis Grafit Oksida	23
2. Sintesis Grafena	24
3. Pembuatan Komposit Grafena - Poliuretan	24
4. Karakterisasi	25
A.) Pengujian XRD	25
B.) Pengujian FTIR	25
C.) Pengujian SEM EDX	25
5. Pengujian Kuat Tekan	26
6. Pengujian Kuat Tarik	26
7. Uji Balistik	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sintesis Grafit Oksida	28
2. Sintesis Grafena	29
3. Pembuatan Komposit Grafena – Poliuretan	32
4. Karakterisasi	32
A. Pengujian XRD	32
B. Pengujian FTIR	35
C. Pengujian SEM EDX	40
5. Pengujian Kuat Tekan	46
6. Pengujian Kuat Tarik	47
7. Uji Balistik (Penembakan)	48

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	51
B. Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Perbandingan nilai bilangan gelombang pada poliuretan dan komposit grafena - poliuretan	39
2. Perbandingan kandungan unsur menggunakan SEM EDX pada poliuretan dan komposit grafena poliuretan	43
3. Perbandingan kandungan unsur pada poliuretan dan komposit grafena – poliuretan dengan SEM EDX	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Skema Pembuatan Grafena dari Grafit	7
2. Struktur grafit, grafit oksida, dan grafena	8
3. Struktur grafit oksida dengan gugus fungsional	9
4. Struktur Polistirena	11
5. Struktur Polipropilena	12
6. Struktur Polivinil Klorida	12
7. Struktur Polietilena	13
8. Struktur Poliuretan	13
9. Rompi anti peluru	15
10. Sistem Rompi anti peluru dalam menahan peluru	17
11. Material rompi anti peluru level IV	17
12. Kerangka pikir	20
13. Proses perubahan grafit menjadi grafena oksida	30
14. Mekanisme reduksi grafena oksida dengan Zn	31
15. Reaksi pembentukan poliuretan	32
16. Perbandingan difaktogram grafit, grafit oksida, grafena oksida dan grafena	33
17. Perbandingan spektra grafit, grafit oksida, grafena oksida dan grafena	36
18. Perbandingan spektra komposit grafena – poliuretan	38
19. Ikatan komposit grafena poliuretan	40
20. Perbandingan hasil SEM dengan perbesaran 2500x pada grafit, grafit oksida, grafena oksida dan grafena	41

21. Perbandingan hasil SEM dengan perbesaran 10.000x pada konsentrasi 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1%, dan 1,5%	42
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Prosedur kerja	59
2. Sintesis Grafit Oksida	60
3. Sintesis Grafena	61
4. Pembuatan Komposit Grafena – Poliuretan	61
5. Pengujian dengan XRD	62
6. Pengujian dengan FTIR	62
7. Pengujian dengan SEM EDX	63
8. Pengujian Kuat Tekan dengan <i>Hammer Test</i>	63
9. Pengujian Kuat Tarik dengan UTM	64
10. Pengujian Balistik (Penembakan)	64
11. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan	65
12. Data Hasil Pengujian Kuat Tarik	65
13. Grafit Komersil	66
14. Grafit Oksida	66
15. Grafena Oksida	67
16. Grafena	67
17. Hasil Uji Balistik	68
18. Hasil Uji Balistik pada Konsentrasi 1%	68
19. Hasil Uji Balistik pada Konsentrasi 1,5%	69
20. Dokumentasi	70

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti
UTM	Universal Testing Machine
GO	Grafit Oksida
PS	Polistirena
PP	Polipropilena
PVC	Polivinil Chlorida
PE	Polietilena
PU	Poliuretan
XRD	X-ray Difrraction
FTIR	Fourier Transform Infrared
SEM EDX	Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Rompi anti peluru merupakan perlengkapan pelindung yang digunakan untuk melindungi tubuh dari hantaman proyektil (anak peluru) maupun serpihan bom yang umumnya digunakan oleh personel militer atau kepolisian untuk menangani tugas-tugas yang memiliki resiko yang cukup tinggi. Penggunaan rompi anti peluru dapat meningkatkan angka keselamatan (harapan hidup) dan efektifitas kerja bagi personel yang menghadapi situasi ekstrim di lapangan seperti penembakan ataupun penanganan bom. Selain digunakan oleh personel TNI dan Polri, rompi anti peluru juga banyak digunakan oleh berbagai pihak untuk kegiatan pengamanan (Zubaidi, dkk., 2009).

Rompi anti peluru dapat menghentikan laju peluru dengan mengurangi sebanyak mungkin lontaran energi kinetik yang dihasilkan (Guden, *et al.*, 2011). Proyektil yang menghantam lapisan material anti peluru akan menyerap energi laju dan memecahnya ke penampang rompi anti peluru yang luas, sehingga energi yang awalnya terkonsentrasi dapat menyebar ke permukaan yang lebih luas dan menyebabkan energinya tidak cukup lagi untuk menembus rompi anti peluru tersebut.

Material rompi anti peluru konvensional yang banyak digunakan saat ini umumnya terbuat dari serat aramid atau dikenal dengan nama dagang *Kevlar* yang dapat melindungi tubuh dari peluru kaliber kecil. Material rompi anti peluru juga banyak menggunakan bahan berupa keramik, logam, dan komposit untuk melindungi tubuh dari peluru berkaliber besar yang lebih mematikan. Penggunaan material-material ini sebagai bahan rompi anti peluru memiliki beberapa kekurangan, diantaranya yaitu harganya yang mahal, alot, dan memiliki bobot yang berat sehingga tidak nyaman digunakan. Rompi anti peluru yang kuat dapat memiliki bobot mencapai puluhan kilogram yang akan mengurangi mobilitas penggunanya, serta dapat menimbulkan kelelahan apabila digunakan dalam jangka waktu yang lama. Oleh sebab itu, rompi anti peluru dalam perkembangannya membutuhkan material yang kuat, ringan, dan lebih murah secara ekonomis.

Grafena merupakan material yang sangat kuat, sangat ringan karena merupakan lembaran karbon yang sangat tipis, memiliki sifat mekanik yang sangat baik, serta dapat diproduksi dari bahan grafit (Huss, 2010). Grafit banyak diproduksi dan dijual secara komersial dengan harga yang relatif murah. Grafit komersial sangat melimpah dan mudah didapatkan di toko bahan kimia namun penggunaannya masih kurang.

Metode sintesis grafit menjadi grafena dapat dilakukan dengan proses kimia yang dikenal dengan metode Hummers, yaitu mengubah grafit menjadi grafena oksida yang kemudian direduksi untuk

menghasilkan serbuk grafena murni (Changzou, 2017). Serbuk grafena yang dihasilkan tidak dapat langsung digunakan sebagai material rompi anti peluru sehingga diperlukan proses supaya grafena dapat diimplementasikan dalam bentuk padatan sebagai material rompi anti peluru. Salah satu cara yaitu pencampuran material grafena dengan polimer jenis poliuretan sehingga menghasilkan bahan komposit yang kuat.

Jumlah konsentrasi grafena dan polimer yang digunakan dapat mempengaruhi kekuatan serta sifat mekanik dari material komposit, begitu juga dengan waktu homogenisasi material komposit. Poliuretan merupakan jenis polimer yang secara mekanik memiliki sifat tahan penyobekan, tahan benturan, serta dapat menghadapi temperatur tinggi tanpa terdegradasi. Penambahan 0,5% konsentrasi grafena dalam komposit grafena – poliuretan dapat meningkatkan kekuatan uji tarik sebesar 40% dibanding poliuretan murni (Pavankumar, *et al.*, 2013).

Poliuretan merupakan polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara senyawa yang mengandung gugus isosianat dengan senyawa yang mengandung gugus hidroksi. Poliuretan merupakan polimer yang terdiri atas beberapa unit monomer dalam molekulnya yang dikenal sebagai oligomer. Poliuretan banyak digunakan sebagai serat, untuk membuat busa (*foam*), bahan elastomer (karet), plastik, lem, pelapis (*coating*), dan lain-lain (Rohaeti, 2005).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi grafena dari grafit komersil dengan menggunakan metode Hummers, kemudian dilakukan pembuatan komposit grafena – poliuretan dengan variasi konsentrasi grafena, serta dilihat potensinya sebagai material rompi anti peluru dengan proses uji balistik.

B. Rumusan Masalah

1. Apakah metode Hummers dapat digunakan untuk mensintesis grafena dari grafit komersil?
2. Bagaimana sifat dan karakteristik grafena hasil sintesis dari grafit komersil dengan metode Hummers ?
3. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi grafena terhadap sifat dan karakteristik komposit grafena – poliuretan ?
4. Bagaimana potensi komposit grafena – poliuretan sebagai material rompi anti peluru ?

C. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis grafena dari grafit komersil dengan metode Hummers.
2. Menganalisa sifat dan karakteristik grafena hasil sintesis dari grafit komersil dengan metode Hummers.

3. Menganalisa pengaruh variasi konsentrasi grafena terhadap sifat dan karakteristik komposit grafena – poliuretan.
4. Menguji potensi komposit grafena – poliuretan sebagai material rompi anti peluru.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai proses sintesis grafena dari grafit komersil dengan metode Hummers.
2. Memberikan informasi sifat dan karakteristik grafena hasil sintesis dari grafit komersil dengan metode Hummers.
3. Memberikan informasi tentang potensi komposit grafena – poliuretan sebagai material rompi anti peluru.
4. Menjadi bahan masukan bagi peneliti selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

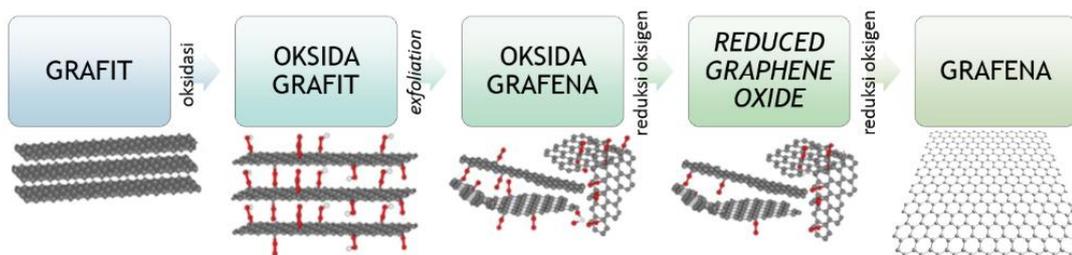
A. Grafena

Grafena adalah material yang tersusun atas atom karbon dan memiliki susunan kisi heksagonal. Struktur dua dimensi dan ikatan kovalen pada grafena membuatnya memiliki sifat kelistrikan, termal, dan mekanik yang baik. Meskipun sangat tipis, kekuatan grafena melebihi baja. Ikatan kovalen antar karbon yang kuat menyebabkan grafena sulit untuk diregangkan, sehingga memiliki modulus tarik hingga 1,1 Tpa. (Lee, *et al.*, 2008). Dengan keunggulan sifat tersebut, grafena memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai komponen material yang sangat kuat namun ringan.

Material grafena pertama kali disintesis oleh Andre Geim dan Konstantin Novoselov pada tahun 2004 dengan mensintesis grafena melalui cara mengelupas lapisan-lapisan kristalin grafit hingga skala nanometer menggunakan selotip. Lapisan-lapisan grafena yang diikat oleh ikatan *van der Waals* terkelupas menjadi satu lembar grafena. Metode sintesis yang dilakukan oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov ini dinamakan metode *mechanical exfoliation*.

Grafena dapat disintesis dengan pengolahan grafit menjadi lembaran-lembaran tunggal grafena melalui beberapa proses untuk

memperoleh grafit oksida. Grafit Oksida (GO) dapat disintesis melalui beberapa metode seperti metode *mechanical exfoliation* (Andre Geim dan Konstantin Novoselov), metode reduksi grafena oksida (Hummers), metode dispersi dalam cairan (Hanns Peter Boehm), dan metode pertumbuhan epitaksial (Claire Berger). Metode Hummers umumnya menggunakan kombinasi kalium permanganat dan asam sulfat sebagai oksidator.

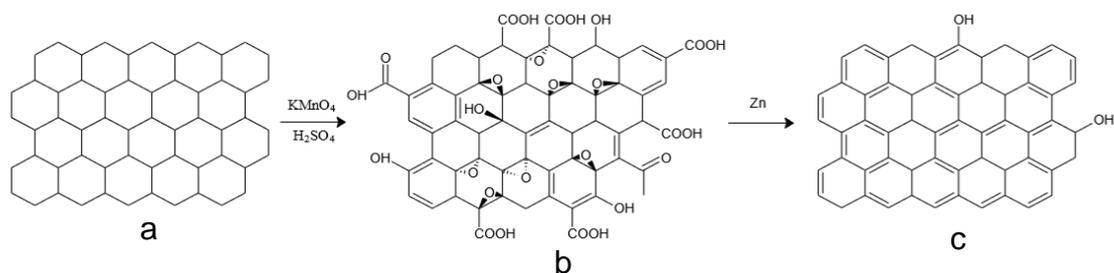


Gambar 1. Skema pembuatan grafena dari grafit
(Sumber: Shao, *et al*, 2012)

Menurut Li, *et al.*, (2014), terdapat dua masalah utama dalam mensintesis grafena. Masalah pertama yaitu menghasilkan lembaran grafena pada skala yang cukup. Grafit meskipun harganya relatif murah dan jumlahnya melimpah, namun grafit tidak mudah terkelupas untuk menghasilkan lembaran grafena satu lapis. Masalah kedua adalah lembaran grafena sulit digabungkan dan didistribusikan secara homogen ke berbagai matriks karena ikatan kovalen yang sangat kuat antar atom karbon dalam grafena.

B. Grafit Oksida

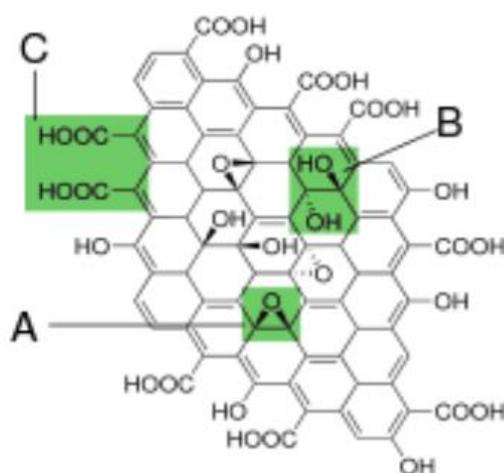
Grafit oksida merupakan produk yang terbentuk sebelum material grafena oksida. Untuk mendapatkan grafena oksida dari grafit oksida, dilakukan proses pengelupasan grafit oksida dengan ultrasonikasi menjadi grafena oksida kemudian dilakukan pelepasan oksida sehingga didapatkan struktur grafena yang murni. Grafit oksida dianggap sebagai zat antara (*intermediet*) dalam produksi grafena dan sering dimanfaatkan langsung antara lain yaitu sebagai serat grafit oksida. Pemanfaatan tersebut dikarenakan grafit oksida memiliki sifat mekanik yang baik dan memiliki sifat konduktor, walaupun tidak sebaik grafena (Bianco, *et al.*, 2013).



Gambar 2. Struktur (a) grafit, (b) grafit oksida, dan (c) grafena (Sumber: Yudha, 2016)

Grafit oksida (GO) memiliki banyak kelompok berbasis oksigen yang diperoleh dari oksidasi grafit. GO merupakan produk pendahulu untuk mendapatkan grafena melalui reaksi kimia dan kondisi termal. Dalam penelitian-penelitian sebelumnya banyak komposit berbasis GO, sebagai contoh lapisan berbasis GO dan film tipis dan nanopartikel berbasis GO yang digunakan untuk berbagai aplikasi. Proses produksi GO

melibatkan dua langkah seperti ditunjukkan pada gambar 2. Langkah pertama yaitu sintesis GO dari serbuk grafit yang dapat dilakukan dengan mendispersi grafit dalam air atau pelarut polar lainnya karena adanya gugus hidroksil, gugus epoksi, dan gugus karboksil. Langkah kedua yaitu GO dapat dikelupas dengan cara ultrasonikasi atau perlakuan lainnya untuk membentuk suspensi koloid dari lapisan satu lapis, lapisan dua lapis atau beberapa lapisan GO. Titik kritis dalam pembuatan GO adalah pemilihan bahan pengoksidasi yang sesuai untuk mengoksidasi grafit (Li, *et al.*, 2014).



Gambar 3. Struktur grafit oksida dengan gugus fungsional A : gugus epoksi, B : gugus hidroksil, dan C : gugus karboksil (Sumber: Hassan, 2018)

C. Grafit

Grafit memiliki berbagai sifat fisik diantaranya berwarna hitam, dapat menghantar listrik (konduktor), tahan terhadap panas, lunak, licin, dan tidak larut dalam air maupun pelarut organik. Grafit memiliki struktur

cincin atom karbon yang beranggotakan 6 atom, seperti benzena yang terkondensasi namun tanpa atom hidrogen (Irawan, 2017).

Grafit mempunyai sifat yang ringan, tersedia melimpah, dan harganya relatif murah. Metode pembuatan grafit sintesis yang dikenal secara umum yaitu melalui proses kalsinasi bahan-bahan yang mengandung unsur karbon. Grafit memiliki jarak antar karbon dalam lapisan sebesar 142 pm, memiliki karakter ikatan rangkap, dan jarak antar lapisan sebesar 335 pm. Lapisan-lapisan tersebut diikat oleh ikatan *van der waals* yang relatif lemah. Lapisan-lapisan ini dengan mudah akan saling menggelincir apabila dikenai gaya atau biasa dikenal dengan sifat pelumasan. Grafit memiliki sifat metaloid, memiliki konduktivitas $10^{-3} \Omega/\text{cm}$, dan hantarannya sekitar 100 kali lebih kecil dalam arah gerak lurus lapisan (Saito, 1996).

D. Polimer

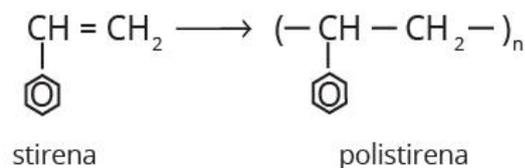
Polimer merupakan suatu makromolekul (molekul raksasa) yang tersusun oleh rangkaian molekul-molekul sederhana (monomer). Polimer memiliki ukuran molekul dan massa molekul yang relatif besar. Polimer banyak digunakan dalam kehidupan manusia, baik yang berasal dari alam seperti dammar, kapas, wol, maupun polimer sintesis seperti PVC, poliester, polietilen, dan poliuretan (Admadi, 2015).

Pemakaian polimer menunjukkan perkembangan yang semakin signifikan sebagai material komposit. Hal ini dikarenakan polimer memiliki

sifat dan karekteristik yang dapat dimanfaatkan sesuai kebutuhan. Polimer dapat digunakan secara tunggal, maupun digunakan sebagai komposit, yaitu menggabungkan dengan material lain untuk mendapatkan sifat yang dikehendaki. Menurut Mujiarto (2005) terdapat beberapa jenis polimer sintesis yang umum digunakan beserta dengan sifat-sifatnya, antara lain :

a) Polistirena(PS)

Polistirena merupakan jenis polimer dari monomer-monomer stirena, yang diperoleh dari hasil dehidrogenisasi etil benzen. Polistirena memiliki permukaan yang cukup keras dan sifat mekanis yang kaku. Namun, polistirena memiliki kekurangan yaitu tidak tahan terhadap panas dan terdegradasi pada suhu 90°C. Polistirena dapat diproduksi dengan cara pengolahan seperti *extrusion*, cetak injeksi, dan *thermoforming* (Andalusi, 2008).

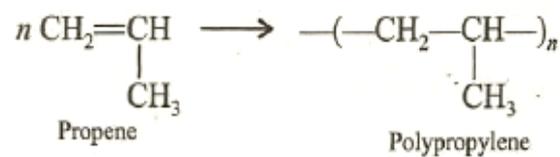


Gambar 4. Struktur Polistirena

b) Polipropilena (PP)

Polipropilena adalah polimer yang dihasilkan dari proses polimerisasi bereaksi molekul monomer membentuk rantai polimer gas propilena. Polipropilena memiliki titik kristalisasi antara 130–135°C dan mempunyai titik leleh yang cukup tinggi yaitu 190–200°C. Polipropilena memiliki ketahanan yang baik terhadap bahan kimia, namun memiliki

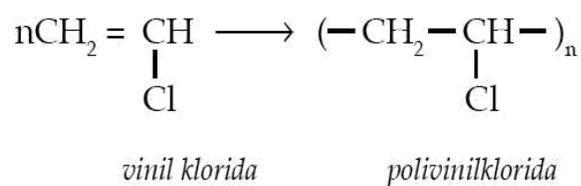
kekurangan yaitu ketahanan pukul (*impact strength*). Polipropilena banyak digunakan untuk berbagai aplikasi, sebagai contoh pakaian dan alat-alat rumah tangga (Wagiswari, 2016).



Gambar 5. Struktur Polipropilena

c) Polivinil Klorida (PVC)

Polivinil klorida merupakan hasil polimerisasi monomer vinil klorida. PVC memiliki kekuatan dan ketahanan yang cukup tinggi, serta banyak digunakan untuk konstruksi saluran pipa. Polivinil klorida memiliki kekurangan diantaranya mudah terdegradasi oleh panas tinggi dan stabilitas termal struktur ikatan lemah yang rendah. PVC dapat diproduksi dengan cetak ekstrusi, injeksi, dan *calendaring* (Yuniari, 2014).

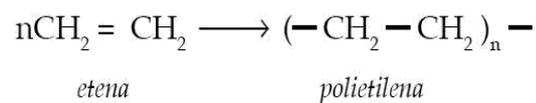


Gambar 6. Struktur Polivinil Klorida

d) Polietilena (PE)

Polietilena merupakan termoplastik plastik yang lunak jika dipanaskan yang banyak digunakan untuk pembungkus makanan atau

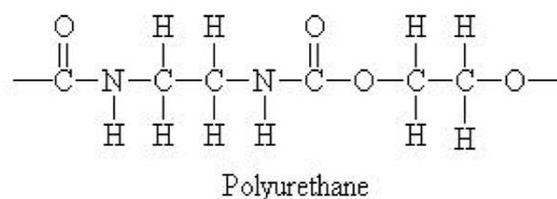
kantong plastik. Polietilena memiliki berbagai jenis sifat mekanis, mulai dari plastik lunak seperti kantong plastik hingga yang cukup keras dan kuat seperti pipa. Polietilena memiliki titik leleh sekitar 105–135°C (Karuniastuti, 2012).



Gambar 7. Struktur Polietilena

e) Poliuretan (PU)

Poliuretan adalah salah satu jenis resin yang sering ditemukan di pasaran dengan penerapan yang sangat luas. Poliuretan memiliki beberapa klasifikasi berdasarkan kekerasannya, mulai dari *shore A* yang dapat membentuk material lunak, hingga *shore D* yang dapat membentuk material yang sangat keras dan kaku. Poliuretan mempunyai sifat mekanik yang baik, diantaranya tahan penyobekan, tahan benturan dan tahan terhadap temperatur tanpa terdegradasi (Wijaya, 2009).



Gambar 8. Struktur Poliuretan

Polimer-polimer sintesis umumnya tidak hanya menggunakan bentuk tunggal dari polimer tersebut, akan tetapi sering kali dipadukan dengan material-material lain untuk membentuk komposit sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis dari polimer tersebut. Salah satu campuran yang dapat dikompositkan dengan polimer ini adalah grafena yang memiliki sifat ringan dan kuat. Perpaduan dari komposit grafena dan poliuretan ini berpotensi membentuk material yang cocok untuk dijadikan rompi anti peluru.

E. Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru merupakan pakaian pelindung khusus yang dapat digunakan untuk menahan hantaman proyektil (anak peluru) sehingga tidak masuk kedalam tubuh penggunanya. Rompi anti peluru umumnya digunakan dalam dunia militer untuk melindungi diri saat menghadapi perang dan meningkatkan harapan hidup bagi pemakainya. Pada zaman dahulu saat peperangan, prajurit menggunakan baju besi untuk mengurangi luka akibat goresan pedang dan hantaman anak panah. Hal tersebut kemudian terus berkembang sampai saat ini menjadi rompi anti peluru. Namun seiring berkembangnya jenis maupun kaliber senjata api maka perlu digunakan berbagai material baru untuk mengembangkan rompi anti peluru agar menjadi lebih kuat, lebih ringan, dan lebih

ekonomis. Berdasarkan jenisnya rompi anti peluru terbagi menjadi dua yaitu *soft body armor* dan *hard body armor* (Zhou, 2013).



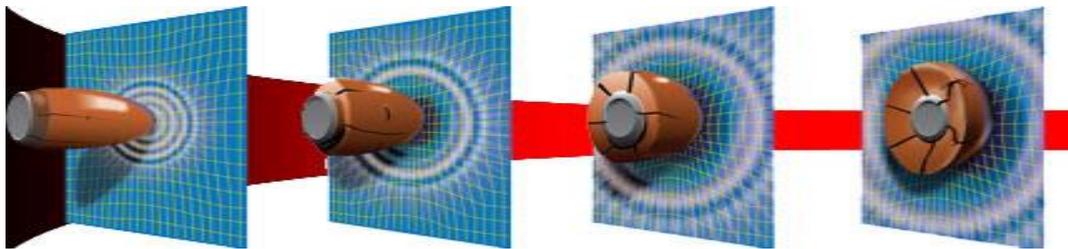
Gambar 9. Rompi anti peluru
(Sumber: Bidang Labfor Polda Sulsel, 2019)

Dalam tugas pokok kepolisian sehari-hari lebih mengutamakan rompi anti peluru yang ringan yaitu *soft body armor*. Rompi anti peluru jenis ini umumnya terbuat dari serat aramid atau dengan nama dagang Kevlar. Material tersebut ditemukan sekitar tahun 1964 oleh Stephanie Kwolek, yang merupakan seorang ahli kimia berkebangsaan Amerika. Aramid merupakan singkatan dari kata *aromatic polyamide* yang memiliki sifat peredam yang bagus, memiliki struktur kuat, alot, dan tahan suhu panas hingga 370°C. Aramid mempunyai kekuatan lima kali lebih kuat dibanding besi. Rompi anti peluru konvensional umumnya memiliki bobot yang relatif berat dan apabila dipakai dalam waktu yang cukup lama akan menyebabkan kelelahan. Rompi anti peluru jenis *soft body armor* biasanya digunakan untuk menahan peluru kaliber kecil dan tidak dapat

menahan peluru dari senjata api jenis senapan serbu (laras panjang) yang lebih mematikan (Zhou, 2013).

Perkembangan rompi anti peluru jenis *soft body armor* dengan penambahan material tertentu dapat menghasilkan rompi anti peluru *hard body armor* yang biasanya terbuat dari keramik, lempengan logam, atau komposit. Rompi anti peluru jenis *hard body armor* memiliki bentuk tebal dan lebih berat apabila dibandingkan jenis *soft body armor* yang menyebabkan tidak nyaman untuk dipakai, sehingga lebih jarang digunakan dalam tugas kepolisian. Rompi jenis *hard body armor* dapat menahan peluru dari senjata api yang lebih mematikan seperti senapan serbu. Penggunaan rompi jenis ini umumnya hanya dalam tugas khusus yang beresiko tinggi, seperti operasi pemberantasan teroris atau operasi tim khusus penanganan bom (Medvedovski, 2010).

Rompi anti peluru dapat menahan laju anak peluru dengan mengurangi sebanyak mungkin energi kinetik yang dihasilkan (Guden, *et al.*, 2011). Lapisan material rompi anti peluru akan menyerap energi laju dari hantaman anak peluru, serta memecahnya ke penampang rompi anti peluru yang luas. Dengan demikian, energi yang awalnya terkonsentrasi dapat menyebar ke permukaan yang lebih luas, sehingga menyebabkan energinya tidak cukup lagi untuk menembus rompi anti peluru tersebut.



Gambar 10. Sistem Rompi anti peluru dalam menahan peluru
(Sumber: <http://maybach300c.blogspot.com/2012/07/saved-from-bullte.html>)

Berdasarkan level ketahanannya dalam menghentikan peluru, rompi anti peluru dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Level yang paling rendah adalah level I. Rompi anti peluru level I ini dapat menahan peluru kaliber kecil. Rompi anti peluru level I juga memiliki daya tahan yang rendah, sehingga jarang digunakan. Level rompi anti peluru selanjutnya adalah level II, yang mampu menahan peluru timah kaliber 9 mm, sedangkan rompi anti peluru level III mampu menahan peluru metal jacket dengan kaliber 9 mm (Mukasey, *et al.* 2008).



Gambar 11. Material rompi anti peluru level IV
(Sumber: Chen, *et al.*, 2007)

Rompi anti peluru level I sampai III dikategorikan sebagai *soft body armor*. Rompi anti peluru level I hingga III hanya dapat menahan peluru dari senjata *hand gun* (pistol dan revolver), tetapi tidak dapat menahan peluru dari senapan serbu. Oleh sebab itu, digunakan rompi anti peluru level IV yang ditambahkan dengan pelindung berupa keramik dan material logam keras (Ashari, 2017).

F. Uji Balistik

Dalam proses karakterisasi material anti peluru, selain dilakukan karakterisasi dengan berbagai jenis instrumen kimia dan fisika, juga dilakukan pengujian untuk melihat secara langsung efektifitas material tersebut dalam menahan hantaman proyektil peluru. Proses pengujian ini disebut dengan uji balistik, yaitu suatu proses untuk mengetahui perilaku dan efek dari anak peluru terhadap material (Pirvu & Deleanu, 2018).

Dalam pengujian digunakan senjata api jenis Pistol Walther buatan Jerman dengan kaliber 0,22 inchi dan peluru tajam jenis timah *round nose*. Senjata ditembakkan ke material anti peluru dari jarak 5 meter (Puslabfor, 2018). Hasil dari pengujian ini akan menunjukkan seberapa potensi dan kemampuan material anti peluru yang diproduksi dalam menahan peluru, termasuk ketebalan dan keamanannya saat digunakan sebagai rompi anti peluru (Pulungan, 2017).

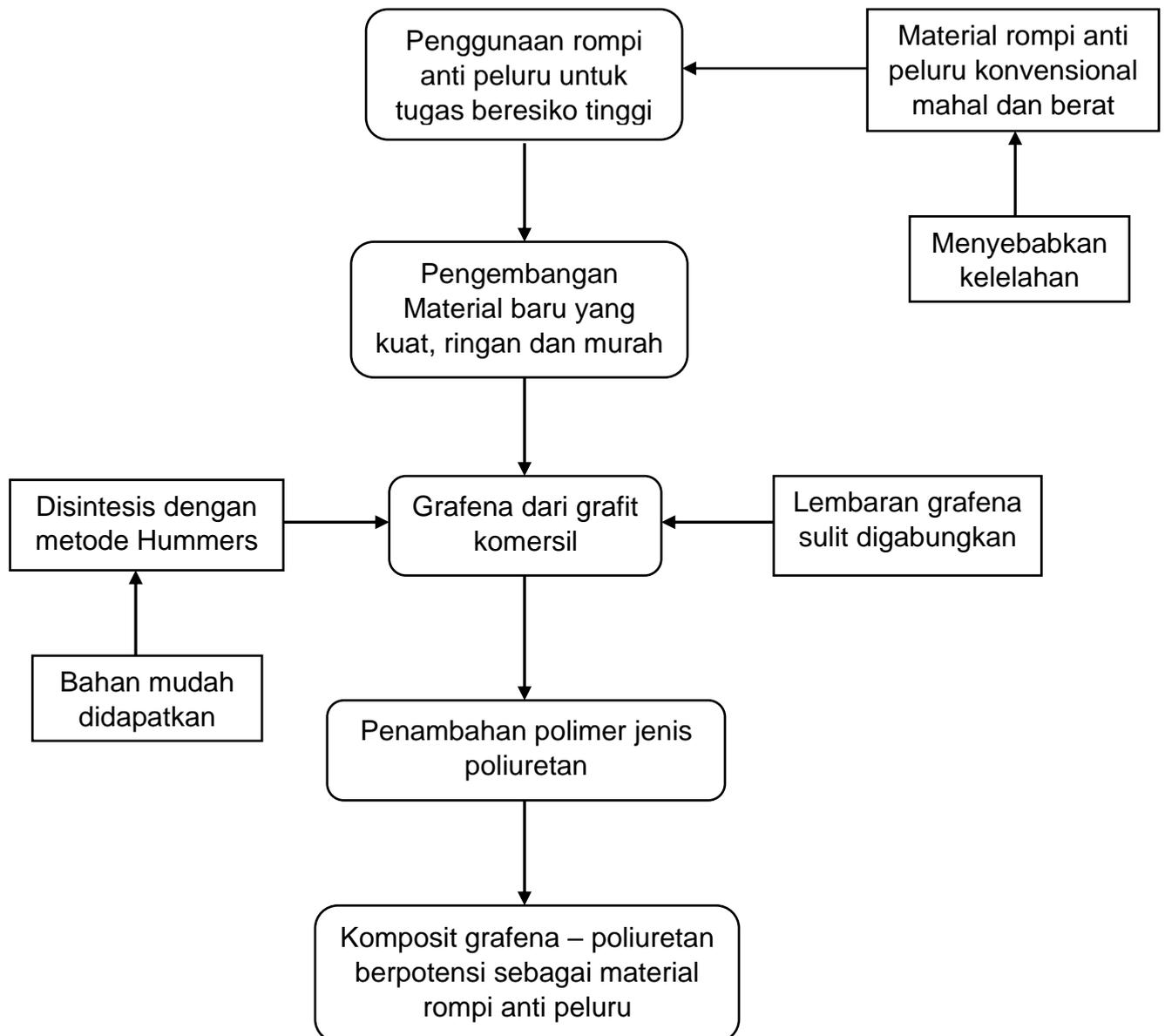
G. Kerangka Pikir

Material rompi anti peluru konvensional umumnya berbiaya mahal dan memiliki bobot yang berat. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satunya adalah dengan membuat material yang kuat, lebih ringan, dan murah.

Grafena merupakan material yang sangat kuat, bersifat ringan karena merupakan lembaran karbon yang sangat tipis, memiliki sifat mekanik yang sangat baik, serta dapat diproduksi dari bahan grafit komersial yang relatif murah dan mudah didapatkan. Serbuk grafena yang dihasilkan tidak dapat langsung digunakan sebagai material rompi anti peluru, sehingga diperlukan proses supaya grafena dapat diimplementasikan dalam bentuk padatan sebagai material rompi anti peluru. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan pencampuran material grafena dengan polimer jenis poliuretan, sehingga menghasilkan bahan komposit yang kuat.

Penambahan grafena dengan konsentrasi 0,5% kedalam komposit grafena – poliuretan dapat meningkatkan kekuatan uji tarik sebesar 40% dibanding poliuretan murni (Pavankumar, *et al.*, 2013) sehingga pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi penambahan grafena kedalam komposit. Adapun sintesis grafena yang dilakukan yaitu dengan metode Hummers, yang mengubah grafit menjadi grafena oksida kemudian dilakukan ultrasonikasi untuk mengelupas lapisan menjadi grafena oksida

dan kemudian direduksi untuk menghasilkan serbuk grafena yang lebih murni.



Gambar 12. Kerangka Pikir

H. HIPOTESIS

Hipotesis yang dapat diajukan dalam penelitian ini berdasarkan kerangka berfikir diantaranya:

1. Grafena dapat disintesis dari grafit komersil dengan metode Hummers.
2. Sifat dan karakteristik grafena hasil sintesis dari grafit komersil dengan metode Hummers yaitu kuat, berbentuk lembaran tipis, dan heksagonal.
3. Peningkatan jumlah konsentrasi grafena mempengaruhi karakteristik dan sifat mekanis dari komposit grafena – poliuretan.
4. Komposit grafena – poliuretan berpotensi digunakan sebagai material rompi anti peluru.