

Ceramic Armor as Protective Material in Defense Industry Product: A Literature Review

Kajian Literatur: Armor Keramik Sebagai Material Pelindung Pada Produk Industri Pertahanan

Ary Lestari^{1*}, Leni Tria Melati¹, Kasim¹, Jupriyanto¹, George Royke Deksino¹

Abstract

Ceramics are currently widely used in various defense industries. Among them are the purposes of body armor (vests and helmets), vehicle protection, and ballistic protection. This review aims to provide insight into ceramic armor materials including their manufacture, use, and application as protective materials. The method used is a literature review and describes the results of the analysis related to the application of ceramic materials in the form of ceramic armor. The use of ceramic armor materials in defense industry products is proven to provide good performance compared to metal materials, especially in increasing the mobility capabilities of defense personnel. In addition, the use of ceramic armor has initiated the development of lightweight protective materials so that various technologies have been developed to maximize the use of ceramics in the defense industry.

Keywords

Ceramic Armor, Protective Materials, Defense Industry

Abstrak

Keramik saat ini banyak digunakan dalam berbagai industri pertahanan. Diantaranya untuk keperluan bahan pelindung tubuh (rompi dan helm), pelindung kendaraan, dan pelindung balistik. Review ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang material armor keramik yang meliputi pembuatan, penggunaan, dan aplikasinya sebagai bahan pelindung. Metode yang digunakan adalah *literatur review* dan mendeskripsikan hasil analisa terkait aplikasi material keramik dalam bentuk *ceramic armor*. Pemanfaatan material armor keramik pada produk industri pertahanan terbukti dapat memberikan performa yang baik dibandingkan dengan material logam terutama dalam meningkatkan kemampuan mobilitas dari personil pertahanan. Selain itu penggunaan armor keramik telah menginisiasi pengembangan material pelindung ringan sehingga berbagai macam teknologi dikembangkan untuk dapat memaksimalkan penggunaan keramik dalam industri pertahanan.

Kata Kunci

Armor Keramik, Bahan Pelindung, Industri Pertahanan

¹*Program Studi Industri Pertahanan, Universitas Pertahanan*

Kampus Universitas Pertahanan RI Salemba, Jakarta Pusat, Indonesia, 10440

* ary.lestari@tp.idu.ac.id

Submitted : October 01, 2022. Accepted : December 13, 2022. Published : December 15, 2022.

PENDAHULUAN

Berdasarkan peraturan Menteri Pertahanan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2014 tentang pokok-pokok pembinaan material pertahanan negara di lingkungan Kementerian Pertahanan dan Tentara Nasional Indonesia, bahwa ketersediaan material pertahanan negara merupakan kebutuhan pokok untuk mendukung pelaksanaan pertahanan negara dalam rangka melindungi segenap bangsa Indonesia, dan segenap tumpah darah Indonesia serta untuk menjaga kedaulatan dan integritas bangsa Indonesia [1]. Yang dimaksudkan dengan material pertahanan negara mencakup seluruh material yang telah dimiliki dan dipergunakan oleh Kementerian Pertahanan juga Tentara Nasional Indonesia (TNI). Mencakup juga material lain yang walaupun secara langsung masih belum didayagunakan, namun pada saat kondisi darurat dengan melalui modifikasi ataupun tidak, dapat digunakan untuk mendukung sistem pertahanan negara.

Sistem *armor* (zirah) telah lama dikembangkan untuk menahan dan melindungi dari dampak kerusakan akibat serangan benda tertentu. Dahulu, *armor* banyak memanfaatkan besi atau baja sebagai bahan utamanya. Namun, seiring berjalannya waktu dan perkembangan sistem persenjataan, bahan ini dinilai kurang efektif. Hal ini dikarenakan *armor* yang berasal dari besi atau baja memiliki massa yang cukup berat, serta kurang efektif untuk menahan beberapa jenis serangan. Untuk sistem perlindungan (*armor*) sebaiknya digunakan bahan yang memiliki kekuatan penangkalan yang baik, serta ringan dan ergonomis [2]. Pada tahun 1960-an, lebih tepatnya saat masa Perang Vietnam. Saat itu, tentara *United States* membutuhkan *body armor* untuk perlindungan bagi pilot helikopter. Namun, *body armor* yang tersedia saat itu masih terbuat dari besi atau baja yang memiliki bobot yang berat (*traditional flak vest*) [3]. Ditambah adanya pengembangan peluru AP (*Armor-Piercing*), yang dapat menembus *body armor* yang ada saat itu [4], mendesak peneliti untuk mengembangkan sistem perlindungan yang lebih baik.

Ligweight armor, yang pertama kali dikembangkan terbuat dari lapisan keramik oksida yang disinter. Lapisan *armor* ini memiliki ketebalan mencapai sepertiga inchi, dan menggunakan *backing sheets* terbuat dari aluminium, atau serat gelas yang dilapisi plastik [5]. Kemudian, Norton Company, mulai mengembangkan sistem *armor* menggunakan baron karbida yang telah diproses menggunakan teknologi *hotpress*, sehingga lebih tipis, dan beratnya 30 % lebih ringan [3]. Setelahnya, berbagai teknologi *armor* menggunakan material keramik mengalami berbagai perkembangan pesat. Kriteria yang digunakan untuk membedakan bahan keramik didasarkan pada fasa atau fasa yang ada dalam komposisi kimianya. Dengan demikian, bahan semua-keramik diklasifikasikan menurut apakah ada fase matriks-kaca (keramik matriks-kaca) atau tidak ada (keramik polikristalin) atau apakah bahan tersebut mengandung matriks organik yang sangat diisi dengan partikel keramik (keramik resin-matriks) [6].

Pemilihan material nyatanya merupakan hal yang sangat penting dan merupakan titik kritis dalam proses manufaktur ini, namun teknologi yang diperlukan juga harus dipertimbangkan. Karena teknologi pemrosesan tersebut akan mempengaruhi kondisi mikrostruktur dari suatu material [7]. Dalam artikel ini akan dipaparkan kajian singkat terkait pengembangan penggunaan keramik untuk bahan dasar sistem *armor* (*ceramic armor*) sebagai bahan pelindung dalam produk industri pertahanan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *literature review* yang secara sistematis, eksplisit dan reproduibel untuk melakukan identifikasi, evaluasi dan sintesis terhadap karya - karya hasil penelitian dan hasil pemikiran yang sudah dihasilkan oleh para peneliti dan praktisi [8]. Penelitian ini mendeskripsikan hasil dari proses analisis dan sintesis

terkait aplikasi material keramik dalam bentuk *ceramic armor* untuk produk industri pertahanan. Menulis literature review memiliki beberapa tahapan atau langkah.

Terdapat empat tahapan dalam membuat literatur review, yaitu (1) memilih topik yang akan direview, (2) melacak dan memilih artikel yang cocok/relevan, (3) melakukan analisis dan sintesis literatur dan (4) mengorganisasi penulisan review[9]. Sumber pustaka yang digunakan dalam review ini melalui data sekunder yang diambil dari buku, artikel, jurnal nasional dan internasional terkait yang dilakukan peneliti terdahulu seperti di *Google Scholar*, *Science Direct*, *Elsevier*, *Research Gate*, dan *Directory of Open Access Journals (DOAJ)*. Dalam proses review, menggunakan kata kunci *Armor Keramik*, *Bahan Pelindung*, dan *Industri Pertahanan*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Material Keramik

Keramik merupakan material inorganik, non-logam, yang bersifat *solid* dan *inert*. Banyak peralatan yang dapat dibuat dari material keramik melalui proses pemanasan dan pendinginan subkuensi, dan hasilnya dapat berupa produk kristalin atau sebagian kristalin. Seringkali definisi keramik hanya terbatas pada material kristalin inorganik, padahal terdapat juga kaca nonkristalin yang dalam proses pembuatannya juga melibatkan aktivitas pemanasan sebagaimana keramik, bahkan material tersebut memiliki sifat yang serupa dengan material keramik [10]. Teknik pembuatan keramik, khususnya untuk keperluan *body armor* dapat dilakukan dengan proses tradisional maupun menggunakan teknologi modern. Dalam proses tradisional, terdapat metode *hot pressing*, *slip casting*, dan *impregnation*. Teknologi ini banyak digunakan untuk pembuatan *armor* pada tahun 1990-an, setelah kesuksesan penjualan *lightweight body armor* oleh Norton. Selanjutnya metode-metode ini dikembangkan dengan bantuan teknologi modern meliputi: *dry shapping*, *wet shapping*, dan *plastic shapping* [7].

1) Metode Tradisional Pembuatan Material Keramik

Hot pressing, merupakan metode yang paling umum digunakan saat ini, hal ini berkaitan dengan sifat dasar dari bahan-bahan pembuatan *armor* yang memiliki titik leleh yang tinggi. Sehingga dibutuhkan bantuan temperatur tinggi untuk memadatkan material tersebut. Metode ini memang lebih mahal jika dibandingkan dengan metode lain, namun metode ini dapat mencakup penggunaan lebih banyak bahan, yang sulit disinter menggunakan metode lain [11].

Slip casting, lebih banyak digunakan untuk membuat bentuk yang lebih kompleks. Prinsip dasar dari metode *slip casting* adalah pembuatan *suspense* dari bubuk material tertentu dalam cairan (biasanya air). Cairan tersebut kemudian akan meninggalkan pori-pori bahan setelah mengering dan meninggalkan lapisan solid dari bubuk material sebelumnya [12]. Metode ini banyak digunakan untuk *armor* yang berbahan dasar Silika Karbida (SiC). Terakhir metode *Impregnation*, metode ini dilakukan dengan pemanasan Silika Karbida (SiC) atau Boron Karbida (B₄C) pada lingkungan (*atmosfer*) yang kaya akan uap silikon atau boron-logam [13].

2) Metode Modern Pembuatan Material Keramik

Dry shapping, metode ini dilakukan dengan memadatkan bubuk material menggunakan bantuan tekanan mekanis [14]. Proses *dry shapping* sendiri dapat dibagi menjadi *uniaxial pressing* dan *isostatic pressing*. *Uniaxial pressing* dilakukan dengan pemberian tekanan terhadap bubuk material yang telah ditempatkan dalam satu wadah tertentu. Pemberian tekanan ini dilakukan satu arah dengan bantuan piston tekanan. Bubuk material dimasukkan kedalam wadah sedikit demi sedikit, dan setelah setiap penambahan bubuk tersebut, akan langsung diberi tekanan [15]. Sementara, proses *isostatic pressing* dilakukan dengan pemberian tekanan pada seluruh bagian permukaan dari wadah material [16]. Penggunaan

metode ini akan menghasilkan keramik dengan tingkat kepadatan serta kerapatan yang lebih seragam jika dibandingkan dengan *uniaxial pressing*, namun metode ini lebih banyak terbatas untuk bentuk yang sederhana.

Wet shapping, dikenal juga dengan istilah pengecoran (*casting*). Metode ini merupakan bentuk pengembangan lebih general dari metode *slip casting*. *Wet shapping* memanfaatkan prinsip dasar sistem koloid, untuk menghasilkan bentuk keramik yang diinginkan. Metode ini dibagi kedalam 6 metode, yaitu *tape casting* (pengecoran pita), *slip casting* (pengecoran slip), *pressure casting* (pengecoran tekanan), *gel casting* (pengecoran gel), *freeze casting* (pengecoran beku), dan *direct coagulation casting* (pengecoran koagulasi langsung) [17].

Tape casting, merupakan metode yang juga digunakan dalam industri kertas. Metode ini dilakukan dengan menyebarkan adonan material pada permukaan pipih yang bergerak (*carrier sheet*). Selanjutnya adonan tersebut digerakkan menuju bagian pengeringan melalui proses evaporasi, sehingga cairan yang biasanya digunakan memiliki titik didih yang rendah. Dengan metode ini dapat dihasilkan keramik tipis dengan tingkat ketebalan yang seragam [18]. *Slip casting* menggunakan suatu cetakan berpori untuk memisahkan material keramik dari cairan. Terlebih dahulu dibuat adonan keramik, selanjutnya adonan dimasukkan kedalam wadah berpori sehingga terbentuk lapisan keras pada dinding cetakan. Kelebihan adonan lalu kembali dipisahkan, dan lapisan tipis yang terbentuk pada dinding cetakan lalu diambil. *Pressure casting* memanfaatkan tekanan piston untuk memisahkan cairan dari bubuk keramik, dengan bantuan filter khusus.

Sedangkan *gel casting* dilakukan dengan mencampurkan material keramik dengan polimer atau monomer lain sehingga terbentuk struktur gel. Gel tersebut lalu dituang pada cetakan tak berpori, dan ditambah dengan senyawa inisiator khusus sehingga dapat mengalami pengerasan [19]. Metode ini banyak digunakan untuk memperoleh bentuk yang lebih kompleks. *Freeze casting*, merupakan teknik yang memanfaatkan sifat campuran material tertentu yang mudah dan cepat membeku. Diikuti dengan proses sublimasi senyawa pengisi, sehingga diperoleh permukaan solid baik yang berpori atau padat sesuai dengan pengaturan [20]. Terakhir, *direct coagulation casting* (DCC), Teknik ini didasarkan pada prinsip pembuatan suspensi yang stabil dan sangat terkonsentrasi dalam sebuah cetakan tidak berpori, yang kemudian dengan menggunakan suatu *time-delayed reaction* untuk menstabilkan suspensi [21]. Koagulasi in situ biasanya dimulai melalui pergeseran pH suspensi menuju titik *isoelektrik* (IEP) dari bubuk keramik sistem atau peningkatan kekuatan suspensi ionik.

Metode golongan ketiga, adalah metode *extrusion and plastic deforming techniques*. Keramik tradisional, memiliki sifat keplastikan pada tingkat tertentu. Namun pada keramik modern, ketiadaan tanah liat menyebabkan sifat keplastikan tersebut hilang. Sehingga dalam beberapa proses pembuatan keramik modern, perlu dilakukan proses tertentu untuk menghasilkan sifat plastisitas campuran (*plastic forming*). Metode ini dibagi menjadi empat jenis yaitu, *extrusion*, *injection molding*, *ram pressing*, dan *Vicous Plastic Processing*.

Proses ekstrusi melibatkan pemadatan campuran plastik yang sangat kental dari bubuk keramik, air dan senyawa pengikat dengan memaksanya melalui sebuah saluran. Selama proses ekstrusi, partikel disatukan oleh tegangan permukaan akibat cincin pendular yang terbuat dari campuran pengikat air [22]. Untuk metode *injection molding*, material dimasukkan ke dalam mesin dan diangkut oleh sebuah sekrup atau plunger ke ruang injeksi. Di dalam ruang injeksi, adonan dipanaskan sampai suhu di mana polimer pengikat memiliki viskositas yang cukup rendah untuk memungkinkan aliran di bawah tekanan yang diterapkan. Pada titik ini, campurannya biasanya bersifat lebih cair daripada campuran ekstrusi. Campuran lalu dipaksa melewati saluran kecil ke dalam rongga cetakan, yang lebih dingin dari campuran sedemikian rupa sehingga campuran akan memadat dengan sendirinya [23].

Proses *ram pressing* dilakukan dengan memberikan *de-aired clay* pada cetakan bermuatan negatif, yang lalu ditekan dengan menggunakan cetakan atas bermuatan positif. Bentuk interior objek ditentukan oleh bagian atas cetakan (muatan positif), sedangkan bentuk luarnya mencerminkan cetakan bawah (negatif). Setelahnya, cetakan atas diangkat, dan kelebihan material dihilangkan. Bagian yang ditekan kemudian dilepaskan dari cetakan positif melalui tekanan fluida yang dipaksakan melalui cetakan yang bersifat permeabel. Sementara, untuk *Viscous Plastic Processing*, adalah proses pembentukan bubuk keramik dicampur dengan polimer dan sejumlah kecil pelarut di bawah kondisi *high shear* untuk membentuk "adonan", yang lalu diproses lebih lanjut menjadi bentuk yang lebih kompleks menggunakan teknik pembentukan plastik lainnya.

Berbagai teknik fabrikasi telah digunakan dalam pemrosesan material *armor* keramik. Ada dua kelas besar cara pembentukan, yaitu: (1) metode dingin, berupa *slip casting*, *ekstrusi*, dan *pressing*, (2) metode sintering tanpa tekanan suhu tinggi dan bantuan tekanan, berupa *hot pressing*, *hot isostatic pressing*, dan *spark plasma sintering*. Beberapa metode yang digunakan pada proses pembuatan material *armor* terangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Proses pembuatan material *armor* keramik [29]

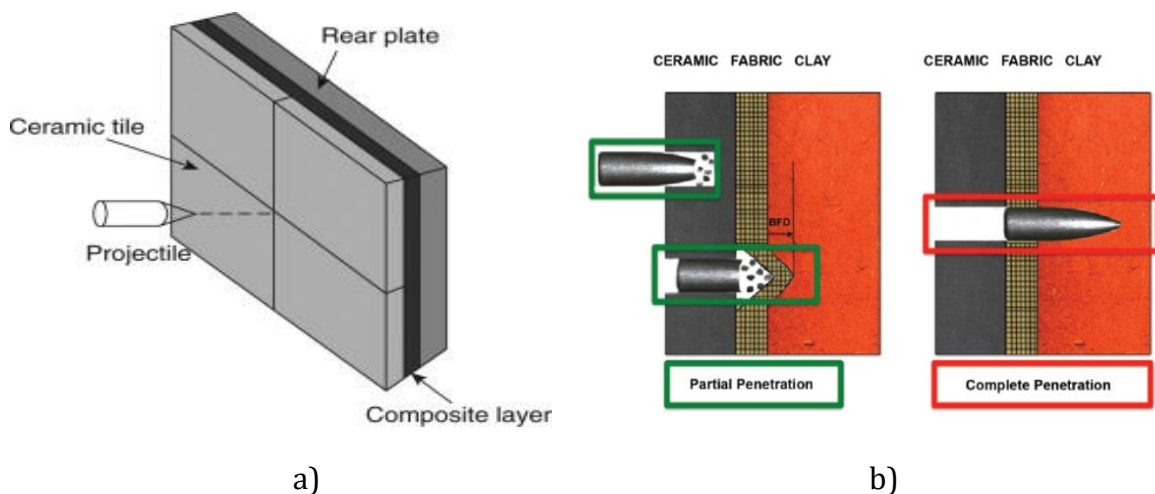
Proses Pembuatan	Bahan	Keuntungan	Kekurangan
<i>Hot Pressing</i> / Pengepresan panas	<i>Ceralloy B₄C</i> <i>Norbide B₄C</i> <i>Ceralloy SiC, Sic-N, dan TiB₂</i>	Suhu lebih rendah dan porositas rendah	Batasan bentuk
<i>Solid-state sintering (SSS) or pressureless sintering</i> /Reaksi padatan atau Sintering tanpa tekanan	<i>Hexoloy SiC</i> <i>Purbide SiC</i> <i>SiC</i>	Tidak ada fase batas butir dan porositas rendah	Suhu yang lebih tinggi dan butir kasar
<i>Liquid-phase sintering (LPS)</i> /Sintering fase cair	<i>Ekasic-T</i> <i>SiC</i>	Suhu lebih rendah, butiran halus, dan porositas rendah	Fase batas butir oksida
<i>Reaction Bonding</i> /Reaksi ikatan	<i>Si/SiC, Si/B₄C</i>	Suhu rendah, kemampuan bentuk kompleks	Silikon sisa

Penggunaan Keramik sebagai *Ceramic Armor*

Armor keramik mulai dikembangkan pada tahun 1960, saat Wilkins berhasil membuktikan bahwa keramik memiliki performansi balistik yang sangat baik [24]. *Armor* keramik dibuat untuk menangkal energi kinetik serangan peluru *armor-piercing* (AP). Peluru ini terbuat dari baja keras (60-64 HRC), dengan densitas moderat (7.85 g/cm³). Kemudian semakin mengalami pengembangan untuk dapat menahan peluru tungsten karbida (WC) yang memiliki densitas tinggi (13.5-15.0 g/cm³) [25].

Material keramik yang digunakan pada *armor* keramik, diolah dalam dua bentuk. Pertama, keramik dengan tambahan *graphene*. *Graphene* adalah nanomaterial dua dimensi yang terdiri dari atom karbon yang disusun dalam bentuk heksagonal. Material tersebut mempunyai sifat-sifat mekanis yang sangat tinggi dengan kekuatan patahnya sendiri mencapai 130 GPa, menjadikannya bahan nano dengan kekuatan spesifik tertinggi yang dikenal umat manusia. Selain itu, karena struktur khususnya membuat *graphene* memiliki konduktivitas termal yang baik. Kedua, pelat keramik fungsional bergradasi. Pelat ini memiliki kandungan volume partikel keramik berubah terus menerus seiring dengan ketebalan, yaitu dari panel baja komposit ke pelat belakang, kandungan bahan keramik berubah dari tinggi ke rendah, yang membuat panel mendekati kinerja bahan keramik, sedangkan pelat belakang mirip dengan kinerja bahan logam [26].

Ceramic armor biasanya tersusun atas bagian *impact plate/surface* dan bagian *backing sheet*. Keramik yang digunakan untuk *armor* biasanya berasal dari golongan alumina (Al_2O_3), boron karbida (B_4C), silikon karbida (SiC), dan titanium diborida (TiB_2). Secara umum, terdapat 3 fungsi lapisan ini yaitu : (1) mematahkan dan merusak ujung perkenaan (*projectile nose*); (2) mengikis dan menghambat proyektil seandainya berhasil menembus retakan *plate*; dan (3) mengurangi tekanan, dengan cara menyebar gaya atau energi perkenaan yang muncul pada permukaan *backing sheet* yang lebih luas sehingga sisa energi dapat terserap optimal. Bagian kedua adalah *backing sheet* atau *backing plate*. Bagian ini berperan untuk menyerap sisa energi kinetik dari *impact* yang terjadi. Seringkali bagian *backing sheet* biasanya terbuat dari bahan besi. Bahkan ada beberapa jenis *ceramic armor* yang menggunakan besi untuk menghimpit pelat keramiknya (*sandwich structure*) untuk mempermudah pemahaman akan struktur keramik, maka dapat dilihat pada [Gambar 1 \[27\]](#).



Gambar 1. a) Struktur [27] dan b) Proses penetrasi proyektil pada material *armor* keramik [33]

[Gambar 1a](#) menunjukkan struktur keramik *armor* pada komposit keramik *armor*, dimana material keramik yang memiliki sifat yang keras dan kaku diletakan pada bagian depan material komposit[27]. Saat material kontak tembakan (*ballistic impact*), beberapa proses terjadi secara beruntun. Pertama, peluru mengenai permukaan keramik (*strike face*) menyebarkan energi kinetik, sehingga gelombang kejut menyebar diseluruh permukaan keramik. Kemudian retakan berbentuk kerucut (*cone*) muncul dipermukaan keramik, disaat bersamaan keramik memberikan gaya reaksi terhadap peluru, sehingga peluru mengalami deformasi. Sementara, jika terdapat sebagian dari peluru yang berhasil melewati permukaan keramik akan tertahan dan dihentikan oleh *back-up sheet*, sehingga hanya sebagian sangat kecil serangan tersebut yang diteruskan ke pengguna [28].

[Gambar 1b](#) adalah proses penetrasi proyektil pada komposit *armor* keramik, baik sebagian maupun seluruhnya[33]. Dalam penetrasi parsial atau sebagian, proyektil berhenti di dalam struktur *armor*, sedangkan dalam penetrasi penuh, proyektil keluar dari struktur *armor*. Penggunaan tanah liat (*clay*) bukan merupakan bagian dari struktur *armor*, tetapi ditempatkan di belakang *armor* untuk mencatat deformasinya.

Pemanfaatan *Ceramic Armor* untuk Produk Industri Pertahanan

1) *Armor*

Senjata pada masa ini menjadi lebih berkembang dan semakin memiliki efek hancur (*destruktif*). Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan material untuk pembuatan *armor* sangat dibutuhkan. Terdapat banyak material yang dapat digunakan untuk mebuat *armor*. Misalnya saja material logam atau perpaduannya, keramik, polimer dan bahan komposit.

Logam dan keramik memiliki kekuatan penahanan yang lebih baik, begitu pula dengan tingkat kekerasan dan ketahanan terhadap dampak peluru. Sedangkan bahan komposit berbasis polimer, akan menghasilkan pelat *armor* dengan bobot yang lebih ringan yang memaksimalkan mobilitas, serta lebih hemat biaya, serta punya sifat-sifat fisik juga mekanis yang jauh lebih baik [29].

Material komposit telah menunjukkan sifat ketahanan yang lebih baik terhadap penetrasi selama tumbukan balistik. *Armor* komposit mampu memperlambat kecepatan laju peluru serta dapat menetralkan energi kinetik peluru. Beberapa formasi serat lapis demi lapis dengan daya tarik yang sangat baik, dapat dihasilkan dari kombinasi komposit. Hal ini menjadikan komposit sebagai salah satu pilihan material terbaik untuk pembuatan *armor*. Namun hal ini tak lantas menyebabkan material keramik kehilangan pesonanya.

Kombinasi bahan keramik yang banyak digunakan untuk *armor* antara lain adalah keramik yang terbuat dari *Silicon Carbide*, *Boron Carbide*, *Titanium Diboride*, *Aluminium Nitrida*, *Silicon Nitrida*, *Aluminium Oksida*, *Tungsten Carbide*, dan Kaca. Meskipun kaca sendiri biasanya tidak dianggap atau digolongkan sebagai *armor* keramik. Namun, pada saat pengujian kaca dapat digunakan untuk menahan energi kinetik impak dari proyektil, memang menunjukkan kemampuan yang sangat baik untuk menjadi bahan *armor* [30]. Bahkan saat ini, bahan kaca banyak digunakan untuk pembuatan keramik *armor* transparan, misalnya untuk *face shield*, dan sebagainya.

2) Body Armor

Keramik yang paling umum untuk keperluan pelindung adalah aluminium oksida, silikon karbida dan boron karbida. Keramik umumnya memiliki kepadatan yang relatif rendah dan kekerasan yang tinggi. Selain itu beberapa sifat mekanis dan fisis lain dari keramik, membuatnya berguna untuk diaplikasikan sebagai bahan *armor*.

Mekanisme kegagalan *armor* keramik cukup kompleks, dan melibatkan kegagalan mekanisme seperti retak radial, retak kerucut dan kominusi karena retak mikro. Kemudian sejauh mana retakan itu muncul dan waktu relatif dari mekanisme tersebut, tergantung pada faktor-faktor seperti: kecepatan tumbukan, sifat keramik dan proyektil, dan dimensi keramik dan jenis proyektil [31]. Sistem pelindung keramik untuk perlindungan personel (pelat SAPI) tidak dirancang untuk menahan benturan dengan batang panjang. Utamanya SAPI dirancang untuk melindungi terhadap ancaman dari senapan. Sehingga perlu dilakukan percobaan lain untuk mengetahui dampak yang mungkin muncul pada *armor* keramik saat terkena impak senjata selain senapan. Beberapa percobaan seperti itu telah dilakukan, dan hasil umumnya, tidak mengherankan, bahwa efek positif dari radial pengurangan juga berlaku untuk proyektil biasa pada kecepatan tumbukan yang sebenarnya. Berbagai komponen yang digunakan sebagai sistem pelindung tubuh ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Pelindung tubuh personil/*Body Armor* [34]

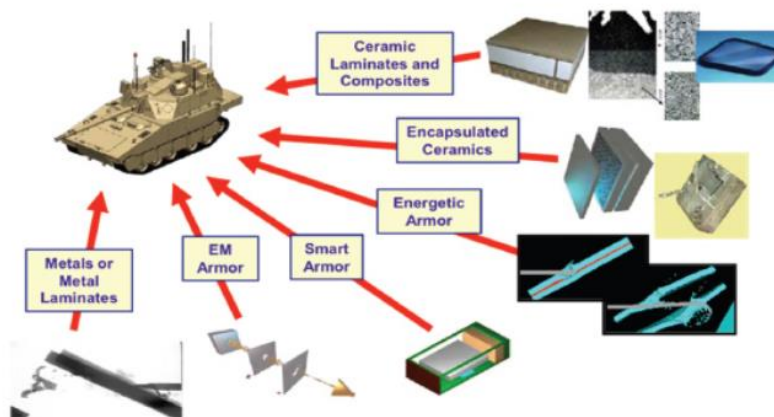
Gambar 2 menunjukkan berbagai komponen yang membentuk sistem pelindung tubuh *interceptor*. Rompi taktis luar, pelindung aksila delto terbuat dari kain Cordura, Kevlar, dan/atau Twaron. sedangkan side plates terbuat dari komposit keramik dengan dukungan serat balistik. Material pada komposit bahan pelindung tubuh meliputi *Interceptor Body Armor (IBA)* dan *Enhanced Small-arms Protective Insert (ESAPI)* yang terdiri dari kombinasi keramik dan serat. Komponen keramik pada bagian luar (*Side Plate*) memberikan perlindungan terhadap peluru dan pecahan peluru.

Dengan meningkatnya ancaman pada peluru, sistem pelindung tubuh membutuhkan tambahan piring keramik di bagian luar atau depan rompi, untuk lapisan pelindung yang kuat dan keras di bagian depan dan material yang punya kemampuan elastis untuk menahan sisa energi kinetik peluru. Keramik yang kuat dan keras akan menumpulkan dan/atau mengikis ujung proyektil. Kombinasi dua bahan yang dikembangkan, pelat muka keramik dan kain serat di lapisan belakang yang memberikan perlindungan menyeluruh. Untuk material perlindungan kepala / helm, tingkat perlindungan sama dengan rompi, untuk menghindari ancaman balistik namun, helm yang dikembangkan saat ini, juga harus nyaman dipakai dan pengaturan termal yang baik sehingga tidak mengganggu penglihatan atau pendengaran, juga berat helm disesuaikan dengan kemampuan leher menahan beban dalam jangka waktu yang lama.

3) Kendaraan Tempur

Tambahan *armor* selalu meningkatkan berat total unit kendaraan dan memperburuk kemampuan pasukan untuk bergerak di medan perang. Untuk alasan ini, perlu digunakan bahan *armor* yang ringan dan dengan ketahanan balistik yang lebih baik. Hal ini dapat dijumpai pada sistem pelat *armor* yang terbuat dari bahan seperti keramik, komposit atau bahan nano. Mereka dicirikan oleh tingkat perlindungan yang lebih tinggi dan disaat bersamaan memiliki massa jenis yang jauh lebih rendah (*lightweight*). Di sisi lain, bahan-bahan ini adalah sangat khas dan untuk proses pengolahannya tidak cukup hanya menggunakan teknologi pengelasan, tetapi dibutuhkan teknologi lain yang lebih modern [32].

Untuk kendaraan militer digunakan *vehicular ceramic armor*. Pada beberapa bagian lempengan keramik yang digunakan hampir sama dengan yang digunakan untuk pembuatan *body armor*. Namun, terdapat beberapa perbedaan kecil, misalnya untuk bagian *backing sheet*. Pada *vehicular ceramic plate* bagian *back sheet* lebih banyak menggunakan bahan berupa *structural steel, frequently rolled homogenous armor*, atau kadang menggunakan aluminum keras. Berbagai komponen yang digunakan sebagai sistem pelindung kendaraan ditunjukkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3. Pelindung Kendaraan/ *Vehicle Armor* [35]

Gambar 3 menunjukkan banyaknya jenis sistem proteksi dan material yang digunakan atau sedang dipertimbangkan untuk kendaraan tempur Angkatan Darat. Penelitian ini hanya melihat material yang secara pasif melindungi kendaraan dari ancaman balistik dan ledakan. Belakangan ini, telah dikembangkan *composite armor* yang khusus digunakan untuk melapisi kendaraan guna menangkal serangan *high-explosive anti tank* (HEAT). Komposit tersebut berupa lapisan yang terdiri atas logam, plastik, keramik dan udara. Salah satu jenis yang banyak dikenal adalah *Chobham armor* yang merupakan *armor* besi laminasi, dengan keramik, baja, dan titanium yang diapit bersama di antara nilon balistik. Pelat keramik yang digunakan diapit oleh dua pelat baja. Untuk lebih jelasnya, berikut adalah bahan penyusun *composite armor*.

- a) *An impact absorbing layer* : silikon karbida, komposit karbon, komposit karbon/silikon karbida, boron karbida, aluminium oksida, komposit matriks logam partikulat/aluminium silikon karbida, atau kombinasinya.
- b) *Backing plate: structural steel, frequently rolled homogenous armor*, atau kadang menggunakan aluminun keras yang dibentuk dengan susunan heksagonal (*honeycomb*).

SIMPULAN DAN SARAN

Saat ini, material keramik dan komposit keramik mulai digunakan secara luas dalam aplikasi militer, khususnya sebagai *armor* keramik untuk bahan pelindung. Secara umum, keperluan militer yang membutuhkan material dengan ketahanan balistik yang baik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yakni pelindung tubuh (*Body Armor*), pelindung kendaraan (*Vehicle Armor*) dan pelindung balistik (*Ballistic Protective*). Pemanfaatan material keramik dan komposit keramik pada aplikasi produk industri pertahanan terbukti dapat memberikan performa yang baik, terutama dalam meningkatkan level perlindungan, mengurangi beban *armor* untuk peningkatan mobilitas personil, dan meningkatkan fleksibilitas rompi anti-peluru.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Kementerian Pertahanan, Peraturan Menteri Pertahanan Republik Indonesia No. 12 Tahun 2014 Tentang Pokok-Pokok Pembinaan Materiil Pertahanan Negara Di Lingkungan Kementerian Pertahanan dan Tentara Nasional Indonesia, 2014.
- [2] Guire, D. E., "Atoms to Armor - Army Invests in New Basic Research to Design New Materials," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, Vol. 92, no. 2, pp. 26-31, 2013
- [3] Matchen, B., "Applications of ceramics in armor products," *Key Engineering Materials*. 12(2), pp. 333-344, 1996.
- [4] Gooch, W. A., "Overview Of The Development Of Ceramic Armour Technology: Past, Present And The Future," *Ceramic Engineering and Science Proceedings*. 32(5), pp. 195-213, 2011.
- [5] Curtis A. Martin, "*Lightweight ballistic armor including non-ceramic-infiltrated reaction-bonded-ceramic composite material*", 2008.
- [6] Nindha, T. G. T., "Pengetahuan Material Teknik II Polimer, Keramik, Komposit," Universitas Udayana, Bali, 2018.
- [7] Leo, S., Tallon, C., Stone, N., & Franks, G. V., "Near-net-shaping methods for ceramic elements of (body) armor systems," *Journal of the American Ceramic Society*, 97(10), pp. 3013-3033, 2018.
- [8] Rahayu, Titik, et al. "Teknik Menulis Review Literatur Dalam Sebuah Artikel Ilmiah.", 2019.
- [9] Afrianto, Irawan. "Psta 4-5-literatur Review Dan Lampirannya.", 2020.

-
- [10] Boch, P., & Ni, J. C. (Eds.), "Ceramic materials: Processes, properties, and applications (Vol. 98)". John Wiley & Sons, 2010.
- [11] Keramik, A. P., "Development, Characteristics and Prospects," *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, Vol. 27(1), pp. 26-39, 2018.
- [12] Anggono, Juliana, et al., "Penyusutan dan Densifikasi Keramik Alumina: Perbandingan Antara Hasil Proses Slip Casting dengan Reaction Bonding," 2008.
- [13] Budiyanto, Eko, "Pengujian Material", Laduny Alifatama, 2020.
- [14] Zainul, R., "Kimia Material," Berkah Prima, Padang, 2021.
- [15] Perdana, Wawan E., "Pembuatan Spesimen Uji Impact Berbahan Aluminium Dengan Teknik Metalurgi Serbuk," 2020.
- [16] Lorraine F. Francis, "Materials Processing," 2016
- [17] Tijjani, Yusuf, "Mechanical and Thermal Properties of CNT-Reinforced Quartzite Nano-Composite for Furnace Lining," 2018.
- [18] Anwar, Ma'ruf, and Mulyadi Purnawanto Agus, "Pembuatan Membran Keramik Dari Zeolit Alam dan Tanah Liat dan Aplikasinya," 2019.
- [19] Yuan, Lei, et al., "Preparation and properties of mullite-bonded porous fibrous mullite ceramics by an epoxy resin gel-casting process," *Ceramics International*, 43(7), pp. 5478-5483, 2017.
- [20] Naviroj, Maninpat, Peter W. Voorhees, and Katherine T. Faber, "Suspension-and solution-based freeze casting for porous ceramics," *Journal of Materials Research*, 32(17), pp. 3372-3382, 2017.
- [21] Sadek, H. E. H., et al, "Utilization of granite sludge for production of cordierite ceramics by direct coagulation casting," *Ceramics International*, 47(14), pp. 20187-20195, 2021.
- [22] Leo, Silvia, et al, "Near-net-shaping methods for ceramic elements of (body) armor systems," *Journal of the American Ceramic Society*, pp. 3013-3033, 2014.
- [23] Zhao, Lei, et al., "Ballistic behaviors of injection-molded honeycomb composite," *Journal of Materials Science*, pp. 14287-14298, 2018.
- [24] Matchen, B., "Applications of ceramics in armor products," *Key Engineering Materials*. Vol. 122. Trans Tech Publications Ltd, 1996.
- [25] Gooch, W. A., "An overview of ceramic armor applications," *Ceramic transactions*, 13(4), pp. 3-21, 2002.
- [26] Bao, Y., Gao, X., Wu, Y., Sun, M., & Li, G., "Research Progress of Armor Protection Materials," *Journal of Physics: Conference Series*. 1855 (1), 2021.
- [27] Yang, M., & Qiao, P., "High energy absorbing materials for blast resistant design," *Blast Protection of Civil Infrastructures and Vehicles Using Composites* (pp. 88-119). Woodhead Publishing, 2010.
- [28] Karandikar, P. G., Evans, G., Wong, S., Aghajanian, M. K., & Sennett, M., "A review of ceramics for armor applications," *Advances in Ceramic Armor IV*, 29, PP. 163-175, 2009.
- [29] Mehara, M., Goswami, C., Kumar, S. R., Singh, G., & Wagdre, M. K., "Performance evaluation of advanced armor materials," *Materials Today: Proceedings*, 47, pp. 6039-6042, 2021.
- [30] Holmquist, T. J., Templeton, D. W., & Bishnoi, K. D., "A ceramic armor material database," Tacom Research Development And Engineering Center Warren Mi, 1999.
- [31] Rahbek, D. B., & Johnsen, B., "Dynamic behaviour of ceramic armour systems., 2015.
- [32] Ślęzak, T., "Employment of the new advanced structural materials in the military vehicles and heavy equipment," *Challenges to national defence in contemporary geopolitical situation*, (1), pp. 32-39, 2018.
-

-
- [33] Department of Justice. 2008. Ballistic Resistance of Body Armor, NIJ Standard-0101.06. Available online at <http://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/223054.pdf>. Last accessed April 15, 2011.
 - [34] DoD Testing Requirements for Body Armor. Report No. D-2009-047, January 29. Available online at <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA499208&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>. Last accessed April 29, 2011.
 - [35] Christopher Hoppel, Chief, High Rate Mechanics and Failure Branch, Army Research Laboratory, "Multi-scale modeling of armor materials," presentation to the committee, March 10, 2010.

Halaman ini sengaja dikosongkan