

ABSTRAK

Kinerja logam dalam menahan serangan proyektil sangat efektif, tetapi logam memiliki kepadatan yang sangat tinggi sehingga membatasi fleksibilitas dan manuver para pasukan tempur. Perlindungan dan mobilitas merupakan kunci utama dari sebuah armor. Tingkat perlindungan dari sebuah armor ditentukan dengan bagaimana suatu energi kinetik dari sebuah peluru dapat diserap oleh armor. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis dan karakterisasi *hard armor* level III yang terdiri atas lapisan depan keramik Al_2O_3 yang ditambahkan Cr_2O_3 hasil reduksi, pengendapan, dan kalsinasi limbah Cr(VI), serta lapisan belakang berupa komposit resin epoksi yang diperkuat *graphene oxide* (GO) dan serat alam. Limbah elektroplating yang mengandung Cr(VI) direduksi menggunakan agen pereduksi hingga membentuk endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$, kemudian dikalsinasi menjadi Cr_2O_3 . Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa Cr_2O_3 yang terbentuk memiliki fase eskolaite dengan ukuran kristalit pada kisaran 8,6 –15,48 nm. Bahan keramik $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$ berhasil disintesis melalui proses *ball milling*, pengeringan, penambahan binder PVA, dan sintering bertahap hingga 1300 °C sehingga diperoleh spesimen dengan struktur padat dan homogen. Pada sisi komposit, penambahan GO menghasilkan dispersi yang baik dan memperbaiki impregnasi resin terhadap serat, sehingga laminasi komposit menjadi lebih kuat dan minim cacat. Uji balistik dilakukan menggunakan proyektil 5.56×45 mm pada jarak 15 m sesuai standar NIJ level III. Pengujian balistik menggunakan proyektil 5.56 × 45 mm tidak sepenuhnya sesuai standar NIJ karena beberapa kendala teknis, termasuk kerusakan *backing clay* dan tembakan yang mengenai area tepi spesimen. Akibatnya, terjadi *edge impact* yang menyebabkan penetrasi dan tidak menggambarkan performa balistik sebenarnya. Analisis SEM–EDS pada area tumbukan memperlihatkan perubahan morfologi material dan ketidakhadiran sinyal Cr pada keramik akibat distribusi Cr yang sangat kecil atau tertutup lapisan karbon.

Kata kunci: hard armor, Al_2O_3 , *graphene oxide*, balistik, NIJ

ABSTRACT

Metals exhibit excellent performance in resisting projectile impacts; however, their high density significantly limits the flexibility and maneuverability of combat personnel. Protection and mobility are essential aspects of armor systems, and the level of protection is determined by how effectively the armor absorbs the kinetic energy of incoming projectiles. This research aims to synthesize and characterize a level III hard armor system consisting of a front layer of Al₂O₃ ceramic doped with Cr₂O₃ derived from the reduction, precipitation, and calcination of Cr(VI) electroplating waste, and a back layer composed of an epoxy resin composite reinforced with graphene oxide (GO) and natural fiber. The Cr(VI) waste was reduced using a chemical reducing agent to form Cr(OH)₃, which was then calcined into Cr₂O₃. X-ray Diffraction (XRD) analysis confirmed the formation of eskolaite-phase Cr₂O₃ with an average crystallite size of 8,6 –15,48 nm. The Al₂O₃ + Cr₂O₃ ceramic was successfully synthesized through ball milling, drying, PVA binder addition, and multi-stage sintering up to 1300 °C, producing dense and homogeneous specimens. In the composite layer, the addition of GO improved dispersion and enhanced resin impregnation into the fibers, resulting in stronger and low-void laminates. Ballistic testing using 5.56 × 45 mm projectiles at 15 m, based on NIJ level III requirements, could not be fully executed according to the standard due to technical issues, including backing clay damage and off-center shots. These issues led to edge impacts, causing penetration that did not represent the true ballistic performance of the armor. SEM–EDS analysis of the impact region showed morphological changes and the absence of Cr signals in the ceramic, likely due to the low concentration or carbon coating during sample preparation.

Keywords: hard armor, Al₂O₃, graphene oxide, ballistic, NIJ