

ABSTRAK

DESAIN DAN ANALISIS PELINDUNG TAMBAHAN KENDARAAN TEMPUR UNTUK MEMENUHI KELAIKAN- LEDAK STRUKTUR (*STRUCTURAL BLASTWORTHINESS*)

Oleh
Arief Nur Pratomo
NIM: 33616301
(Program Studi Doktor Teknik Dirgantara)

Kelaikan-ledak struktur (*structural blastworthiness*) adalah kemampuan suatu struktur untuk berdeformasi dengan gaya terkontrol dan memberikan ruang yang cukup untuk keselamatan penumpang selama terjadi ledakan. Frasa ini dimunculkan untuk menunjukkan kebutuhan yang mendesak pada struktur laik-ledak (*blastworthy structure*). Struktur laik-ledak ini diharapkan dapat mengurangi risiko cedera penumpang suatu kendaraan tempur akibat serangan ranjau yang banyak terjadi di daerah perang atau daerah damai paska perang.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa konstruksi *aluminum foam sandwich* (AFS) memiliki karakteristik penyerapan energi ledak yang unggul. AFS adalah sebuah konstruksi yang terdiri dari busa aluminum yang diapit oleh dua pelat logam. Karakteristik busa aluminum (*Al-foam*) sebagai penyerap energi ledak dapat diamati melalui deformasi yang masif pada dinding sel rongga udara saat terkena beban impact. Selain ringan, *Al-foam* juga memiliki kapasitas penyerapan energi deformasi (luas kurva tegangan-regangan) yang besar. Saat dibebani tekan, *Al-foam* mengalami tegangan datar (*plateau stress*) yang panjang sebelum mengalami pemadatan. Dengan massa yang ringan dan penyerapan energi yang besar membuat *Al-foam* memiliki penyerapan energi per massa yang lebih baik dari material lain.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah meningkatkan kelaikan-ledak struktur kendaraan tempur Anoa 6×6 dari level 1 ke level 3 merujuk ke NATO STANAG 4569. Strategi pencapaian tujuan tersebut adalah dengan mendesain dan menganalisis pelindung tambahan berupa AFS dan kursi anti-ranjau untuk diaplikasikan pada kendaraan tempur Anoa 6×6. Setelah dipasang pelindung tambahan, keselamatan penumpang Anoa 6×6 dianalisis melalui penilaian risiko cedera.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh pelindung tambahan terhadap keselamatan penumpang dari ancaman ranjau. Pelindung tambahan primer berupa AFS dipasang di bawah lantai kendaraan tempur Anoa 6×6 yang akan dibebani ranjau bermassa 8 kg dengan jenis trinitrotoluene (TNT) di bawah perut kendaraan tersebut (NATO STANAG 4569 level 3b). Standar-standar yang digunakan adalah NATO STANAG 4569 dan dokumen turunannya, *Allied Engineering Publication* (AEP) 55 volume 2. Umumnya konstruksi AFS ini tetap menyisakan akselerasi dan

perpindahan yang tinggi pada lantai kendaraan tempur selama ledakan berlangsung. Sisa akselerasi dan perpindahan yang masih tinggi ini diatasi oleh pelindung tambahan sekunder berupa kursi anti-ranjau sedemikian sehingga dapat mengurangi risiko cedera penumpang.

Secara umum penelitian ini terdiri atas tiga kegiatan utama yaitu uji integritas struktur, uji keselamatan penumpang, dan uji keselamatan penumpang dengan beban berlebih. Tiga kegiatan utama ini dibagi lagi menjadi enam tahapan sesuai dengan nama bab yaitu (1) studi pustaka dan kajian analitis, (2) pemodelan numerik kelaikan-ledak AFS, (3) desain dan analisis setup pengujian ledak AFS, (4) pengujian validasi kelaikan-ledak AFS, (5) desain dan analisis keselamatan penumpang kendaraan tempur, dan (6) desain dan analisis kehandalan (*robustness*) pelindung tambahan kendaraan tempur.

Dari penelitian ini diperoleh desain pelindung tambahan kendaraan tempur berupa AFS dan kursi anti-ranjau untuk Anoa 6×6 yang memenuhi NATO STANAG 4569 level 3b. Pelindung tambahan dengan konstruksi AFS telah lulus uji integritas struktur yang ditandai dengan tidak adanya lubang akibat ledakan ranjau, namun akselerasi dan perpindahan lokal akibat ledakan pada lantai masih tinggi masing-masing 30.114 G dan 15 cm. Saat AFS diaplikasikan ke Anoa 6×6, sisa akselerasi dan perpindahan ini menyebabkan kursi bawaan Anoa 6×6 tidak lulus uji keselamatan penumpang, sehingga perlu dilakukan modifikasi kursi anti-ranjau. Modifikasi ini terdiri atas (1) perubahan sistem pemasangan kursi dan (2) peninggian posisi sandaran kaki. Dengan kursi anti-ranjau yang termodifikasi ini diperoleh pengurangan risiko cedera hingga lebih dari 90% pada bagian tubuh yang dinilai kritis (kepala, leher, dan tulang kering (*tibia*)). Saat diaplikasikan ke uji keselamatan penumpang dengan beban berlebih (*overmatch*), kursi tersebut harus dimodifikasi kembali untuk mampu menahan beban ledak 10 kg TNT. Modifikasi lebih lanjut berupa peningkatan sandaran kaki hingga 24 cm mampu memenuhi beban ledak 10 kg TNT, namun hal ini memberikan pengaruh negatif kepada kenyamanan penumpang.

Penelitian ini berdampak besar dalam industri militer dan industri penyedia material baja dan aluminum. Bagi industri militer dalam negeri, terdapat peningkatan nilai tambah pada kendaraan tempur yang telah memenuhi kelaikan-ledak melalui pembuatan varian kendaraan tempur laik-ledak. Di samping itu, penggunaan *Al-foam* akan memicu perusahaan dalam negeri seperti PT INALUM untuk menyediakan rantai pasok kebutuhan *Al-foam*. Selain itu, PT Krakatau Steel juga dapat menyediakan rantai pasok dari baja kekuatan tinggi dan menengah yang selama ini masih diimpor dari luar negeri. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada metodologi desain, produk pelindung tambahan, dan model numerik yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh pelindung tambahan AFS dan kursi anti-ranjau terhadap keselamatan penumpang kendaraan tempur Anoa 6×6 dari ancaman ranjau.

Kata kunci: Kelaikan-ledak struktur, pelindung tambahan, aluminum *foam sandwich*, kursi anti-ranjau, kendaraan tempur.

ABSTRACT

DESIGN AND ANALYSIS OF ADDITIONAL PROTECTIONS ON AN ARMORED VEHICLE TO COMPLY STRUCTURAL BLASTWORTHINESS

By

Arief Nur Pratomo

NIM: 33616301

(Doctoral Program in Aerospace Engineering)

Structural blastworthiness is an ability of a structure to deform in a controlled force and a preserved sufficient residual (survival) space around the occupants to minimize injury when a blast impact incident occurs. This phrase was proposed to show the urgency of the blastworthy structure that guaranteed the safety of the occupants due to mine threats that happened mostly in war-conflicted countries.

Previous researches showed that an aluminum foam sandwich (AFS) had a superior blast energy absorption characteristic. The AFS is a construction of an aluminum foam (Al-foam) panel that is sandwiched between two metal plates. The unique characteristic of the Al-foam as the blast energy absorber can be observed through massive deformations in the cell walls of the foam air cavities when subjected to a compressive impact loading. The Al-foam is not only lightweight, but it also has a large strain/deformation energy capacity (the area below the stress-strain curve). Under compressive loading conditions, the Al-foam undergoes long plateau stress before densification occurred. Therefore, the Al-foam has better energy absorption per mass than other materials.

The main objective of this research was to improve the blastworthiness of an armored vehicle (AV) called Anoa 6×6 from level 1 to level 3, referred to NATO STANAG 4569. The strategy to achieve this objective was to design and to analyze additional protections in the form of the AFS and an anti-mine seat that were applied to the AV. After additional protections were installed, the occupant safety was then analyzed in injury risk assessments.

This dissertation focused on the effects of additional protections to the AV's occupant safety against mine threats. The primary additional-protection that uses the AFS was installed under the vehicle's floor to resist a mine threat. The mine threat in the form of 8 kg trinitrotoluene (TNT) was located under the vehicle's belly (NATO STANAG 4569 level 3b). NATO STANAG 4569 and Allied Engineering Publication (AEP) 55 volume 2 were used as the standard. In general, the AFS still caused high acceleration and deformation on the AV's floor during the mine explosion. The remaining acceleration and deformation were countered

by the secondary additional-protection in the form of the anti-mine seat so that it can pass all the injury assessment reference values (IARV).

This research consisted of three main activities: the structural integrity test, the occupant survivability test, and the occupant survivability test for overmatch condition. These three main activities were further divided into six stages according to the name of the chapter: (1) literature study, (2) numerical modeling for blastworthiness of AFS, (3) design and analysis of blast experiment setup of AFS, (4) experiment validation to evaluate the blastworthiness characteristic of AFS, (5) design and analysis of occupant survivability of the armored vehicle, and (6) design and analysis for robust design of additional protections of the armored vehicle.

The results showed that the additional protections of the AV in the form of the AFS and the anti-mine seat complied with both NATO STANAG 4569 level 3b and AEP 55 volume 2. The AFS construction passed the structural integrity test that was indicated by the absence of cracks or holes after the explosion. However, the local acceleration and deformation on the AV's floor were still high, about 30,114 G and 15 cm, respectively. Due to the remaining acceleration and deformation, the existing anti-mine seat was not able to pass the occupant survivability test, so some modification on the seat system was required. The modifications consisted of (1) changes in the seat installation system and (2) elevation of the footrest position. By using the modified anti-mine seat, the injury risk was reduced more than 90% in every critical body-part (head, neck, and tibia). On the overmatch test, the anti-mine seat must be modified further, so it was able to withstand a blast load of 10 kg TNT. The advanced modification by applying a higher footrest position (24 cm) was able to comply with the 10 kg TNT, but it probably made the occupants not comfortable.

This research has a major impact on the military industry and the raw steel and aluminum industry. For the domestic military industry, there is an added-value for the commercialization of the AV with an anti-mine version. Moreover, the use of the AFS will drive the production of domestic companies. For instance, PT INALUM can provide the supply chain for the Al-foam needs, while PT Krakatau Steel can supply the high and medium strength steel that has so far been imported. The novelty of this research lies in the methodology, the additional protection products, and the numerical models used to evaluate the additional protections and its effect on the occupant safety in the AV against the mine threat.

Keywords: structural blastworthiness; additional protection; aluminum foam sandwich; anti-mine seat; armored vehicle.