

Analisa Kecelakaan *Impact* Baut Terhadap *Safety Helmet* Menggunakan Pendekatan *Explicit Dynamic*

Raka Mahendra Sulistiyo^{a*}, Sulardjaka^{b,d}, Ratna Purwaningsih^{b,d}

^a Program Studi Teknik Mekatronika, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia 56116

^b Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^c Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang Semarang, Indonesia 50275

^d Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang Semarang, Indonesia 50275

*E-mail: rakamahendras@untidar.ac.id

Abstract

Occupational Health and Safety Management System (SMK3L) is a priority for implementation in every individual to be protected from all potential hazards of work accidents. The implementation of SMK3L is applied in the power plant construction project in the form of the use of safety helmets as head protection. This safety helmet is used to protect the head from the impact of falling objects from a height. Testing of this safety helmet is important to study. The method used is a computer-based impact simulation with a computational aided engineering program using explicit dynamics. The safety helmet used has a model like the one in the project with polypropylene material. The impact material used is M16 type structure steel nuts and bolts at a height of 30m with a speed of 24.26 m/s. The results obtained are that the helmet is hit by the nut and bolt with a maximum deformation direction of 15.2mm on the x-axis, an average total deformation of 30mm, a maximum Equivalent stress of 2101.7 MPa, and a maximum Equivalent strain of 1.44 mm/mm. Safety helmet has fracture on the right and left side due to impact.

Kata kunci: *Explicit dynamic, Finite element, Safety helmet, Deformation, Stress, Strain*

Abstrak

Sistem manajemen keselamatan, Kesehatan kerja dan lingkungan (SMK3L) menjadi prioritas implementasi disetiap prapadi agar terlindungi dari segala potensi bahaya kecelakaan kerja. Implementasi SMK3L ini diterapkan dalam pekerjaan proyek pembangunan pembangkit listrik berupa penggunaan *safety helmet* sebagai proteksi kepala. *Safety helmet* ini digunakan untuk melindungi kepala dari benturan benda jatuh dari ketinggian. Pengujian *Safety helmet* ini menjadi penting untuk diteliti. Metode yang dilakukan adalah simulasi *impact* berbasis komputer dengan program *computational aided engineering* menggunakan *explicit dynamic*. *Safety helmet* yang digunakan memiliki model seperti yang ada pada proyek dengan bahan polypropylene. Material *impact* yang digunakan adalah mur dan baut *structure steel* tipe M16 pada ketinggian 30m dengan kecepatan 24,26 m/s. Hasil yang diperoleh yaitu helm tertumbuk oleh mur dan baut dengan arah deformasi maksimum sebesar 15,2mm pada sumbu x, rata-rata total deformasi sebesar 30mm, maksimum Equivalent stress sebesar 2101,7 MPa, maksimum Equivalent strain sebesar 1,44 mm/mm. *Safety helmet* terdapat patah di sisi sebelah kanan dan kiri akibat dari benturan.

Kata kunci: *Explicit dynamic, Finite element, Safety helmet, Deformation, Stress, Strain*

1. Pendahuluan

Implementasi sistem manajemen keselamatan, Kesehatan kerja dan lingkungan (SMK3L) merupakan faktor yang sangat penting pada lingkungan kerja setiap orang. Terutama untuk pekerjaan yang memiliki resiko tinggi yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja. Pentingnya karyawan dalam memahami dan melaksanakan budaya SMK3L yang baik dan benar [1]. Salah Satu implementasinya adalah penggunaan alat pelindung diri yang mumpuni untuk melindungi diri terhadap bahaya yang ada dalam pekerjaan. Alat pelindung diri mampu memberikan perlindungan terhadap bahaya api, benda jatuh, terjatuh, tertekan bahkan bahan kimia.

Helm merupakan salah satu alat pelindung diri dari potensi bahaya untuk melindungi kepala dari bahaya benturan, gesekan hingga kimia. Penggunaan helm sangatlah luas seperti untuk keselamatan berkendara motor pada umumnya [2]. Tidak hanya itu, helm juga digunakan untuk perlindungan untuk proses manufaktur maupun proses pembangunan pada

kontraktor suatu perusahaan. Pada umumnya perusahaan konstruksi menggunakan *safety helmet* sebagai pengaman kepala saat sedang bertugas di lapangan.



Gambar 1. Penggunaan helm di proyek

Pentingnya *Safety helmet* di pekerjaan sipil menjadi kontribusi dalam pencapaian 1.000.000 jam kerja tanpa kecelakaan yang di peroleh oleh seluruh konsorsium Riau GFPP 275MW Project. Melihat banyaknya potensi kecelakaan yang bisa terjadi akibat kesalahan manusia maupun faktor alam. Potensi kecelakaan yang bisa terjadi adalah jatuhnya material dari ketinggian tertentu. Seperti mur dan baut untuk *steel structure* pada steam turbine building yang terlihat pada gambar 2. *Safety helmet* yang dipakai adalah tipe 1 kelas C untuk mengurangi dampak bahaya dari atas tanpa adanya perlindungan terhadap listrik menurut ANSI/ISEA Z89.1-2014 [3].

Potensi benda jatuh pada bangunan tertinggi di proyek seperti pada atap *steam turbine building* yang mencapai 30 m. Meningkatnya potensi pada saat pemasangan mur dan baut, salah satunya yaitu baut dengan standar M16.



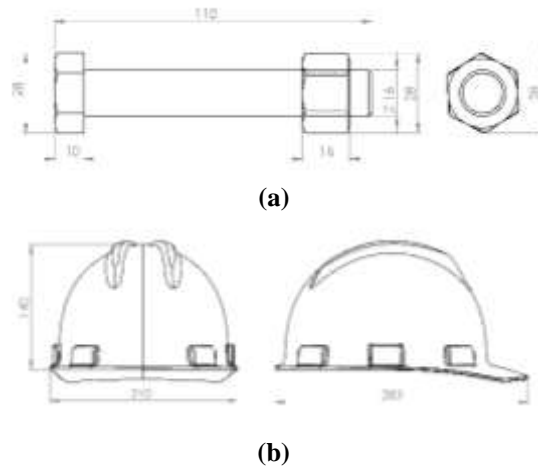
Gambar 2. Steam turbine building

Finite element method merupakan salah satu bentuk pengujian berbasis komputer yang dapat memberikan simulasi secara detail. Pengujian berbasis komputer ini memberikan kemudahan untuk melakukan proses analisa data tanpa adanya eksperimen secara nyata. Salah satu keuntungannya adalah menghemat biaya, waktu dan sumber daya. Disamping itu bisa lebih fleksibel dalam variasi parameter yang akan digunakan. Penggunaan *finite element method* ini bisa diaplikasikan secara umum pada pengujian tumbukan pada helm [4]. Riset ini bertujuan untuk menganalisa performa *safety helmet* terhadap *impact* baut sebagai potensi ancaman di dalam proyek konstruksi yang memiliki ketinggian dalam pekerjaanya.

2. Material dan metode penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dari tahap desain menggunakan *software* gambar berbasis komputer/*Computer Aided Design* (CAD) dari helm proyek yang digunakan pada proyek pembangunan Pembangkit listrik. Baut dan mur yang digunakan adalah tipe M16 untuk *steel structure* yang digunakan pada proyek yang sama serta penggunaan baut ini cukup banyak untuk struktur baja. Baut memiliki panjang 110 mm serta diameter 16 mm, untuk mur memiliki bentang 26 mm dengan berat 0.28 kg. Helm memiliki dimensi panjang 283 mm dengan lebar 210 mm dan tinggi 140 mm dengan berat 380 gram. Detail gambar bisa dilihat di gambar 3 berikut ini.

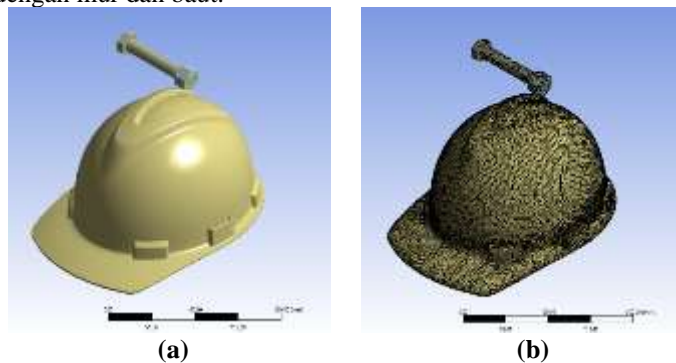
Batasan masalah yang dipakai dalam penelitian ini adalah tidak adanya hambatan (*drag*), tumpuan helm, posisi jatuh baut serta desain helm. Baut yang tersambung dengan mur jatuh bebas dengan mengabaikan hambatan akibat fluida kerja seperti kecepatan angin. Tumpuan helm merupakan bidang XZ sebagai penahan *impact*. Kondisi baut terjatuh dalam posisi melintang sejajar sumbu X dengan arah kecepatan terhadap sumbu minus Y diatas helm. Helm yang diuji merupakan *hard shell* saja tanpa adanya tambahan tali helm dan suspense helm. Desain baut dan helm memiliki dimensi yang berbeda dan digambar dengan ukuran yang mendekati dengan yang ada di lapangan.



Gambar 3. (a) Desain baut (b) desain helm

Proses pertama adalah proses desain menggunakan software gambar berbasis komputer (*Computer Aided Design*) dengan mengacu pada desain helm yang dipakai di proyek. Proses kedua yaitu menetapkan input awal pada *software engineering* berbasis komputer (*Computer Aided Engineering*) dengan metode *Explicit Dynamic*. *Explicit Dynamic* merupakan simulasi yang digunakan baik dinamis maupun statis yang digunakan untuk menguji benturan baik pada helm maupun material yang lain [5]. Material yang digunakan pada *engineering data* adalah *Polypropylene* (PP) untuk helm dan *Structural Steel* untuk baut dan mur [6]. *Polypropylene* pada umumnya digunakan sebagai material pembuatan *safety helmet* SNI [7]. Input yang dimasukkan yaitu kecepatan baut dan mur dengan nilai 24,26 m/s dari arah sumbu minus y dari arah atas *safety helmet* melawan arah grafitasi dengan tumpuan pada bidang sumbu x bagian bawah helm. Nilai kecepatan didapatkan dari teori gerak jatuh bebas. Sedangkan jarak antara helm dengan baut dan mur adalah 15 cm sebagai jarak *impact* dengan kecepatan baut didapatkan dari gerak jatuh bebas.

Proses selanjutnya adalah proses *meshing* terhadap desain. *Meshing* menggunakan ukuran 4 mm untuk elemen mesh dan menggunakan setelan standar untuk input yang lainnya terlihat pada gambar 4. Proses simulasi dilakukan dengan pengaturan hasil menggunakan total deformasi, *directional deformation*, *equivalent stress* dan *equivalent strain* untuk hasil benturan antara helm dengan mur dan baut.



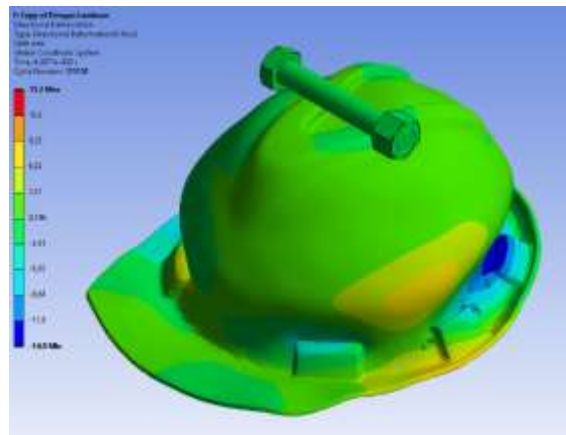
Gambar 4. (a) Desain helm (b) proses *meshing*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

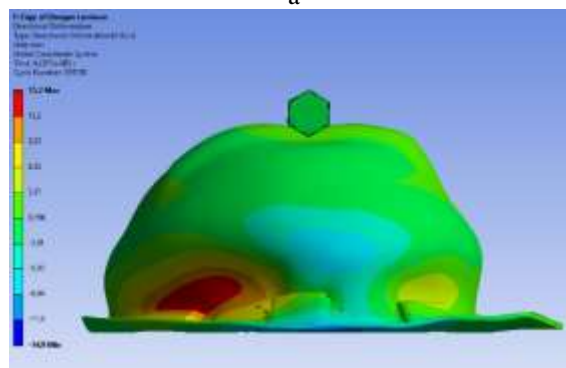
Dari hasil simulasi tumbukan baut dan mur M16 pada helm memiliki tiga hasil yaitu *directional deformation*, *total deformations*, *equivalent stress* dan *equivalent elastic strain*.

3.1 *Directional deformation*

Tumbukan pada helm oleh baut dan mur menghasilkan arah deformasi yang mengakibatkan helm tersebut berubah bentuk. Perubahan bentuk tersebut bisa dilihat pada gambar 5.



a



b

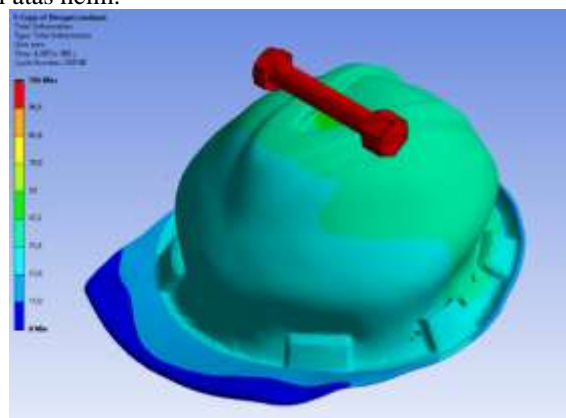
Gambar 5. *Directional Deformation (a) isometric (b) sisi kanan*

Perubahan bentuk yang terlihat melalui perbedaan kontur warna dimulai dari biru merupakan deformasi ke arah negative hingga warna merah yang memiliki panjang deformasi ke arah positif. Deformasi yang terjadi berdasarkan arah sumbu x.

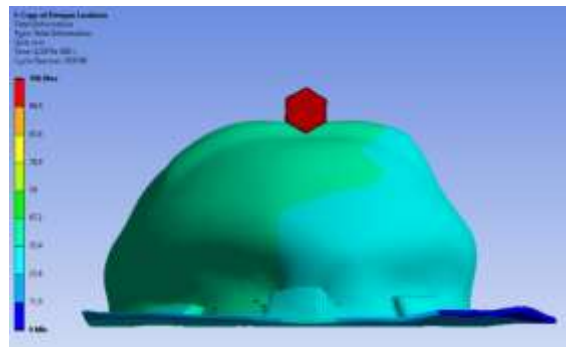
Deformasi rata-rata yaitu sebesar 4,7 mm dengan dominasi warna hijau pada seluruh area helm. Deformasi minimum yaitu -14,8 mm sedangkan nilai deformasi maksimum adalah 15,2 mm. Deformasi maksimum dan minimum terjadi pada area bawah sampai belakang. Distribusi beban yang tidak merata pada desain helm mengakibatkan arah deformasi yang tidak merata di seluruh bagian helm. Arah deformasi tersebut memiliki resiko yang mengakibatkan kepala terkena gaya impuls dari arah bawah bagian belakang.

3.2 Total deformation

Deformasi total yang terjadi pada helm bisa dilihat pada gambar 6 dibawah ini. Deformasi total yang diakibatkan oleh tumbukan mur dan baut dari atas helm.



a



b

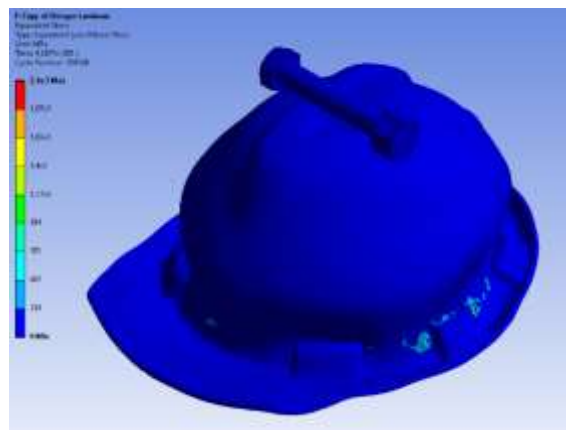
Gambar 6. Total deformation (a) isometric (b) sisi kanan

Deformasi total yang terjadi dapat terlihat pada kontur warna yang tersebar. Warna biru merupakan perpindahan deformasi total yang minimum sedangkan warna merah merupakan perpindahan deformasi total maksimum. Warna merah hanya ada pada mur dan baut dikarenakan posisi mur dan baut terjatuh pada posisi 100 mm dari atas helm.

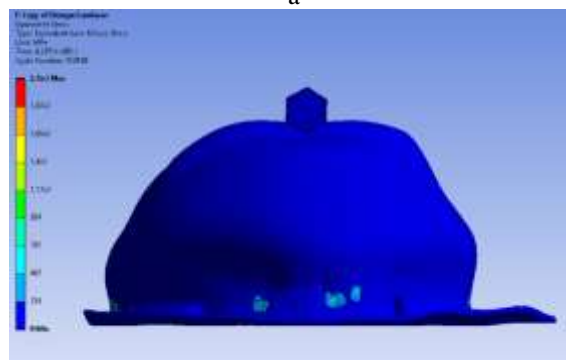
Terlihat deformasi total maksimum didominasi pada warna hijau muda dengan nilai 37 mm. Deformasi minimum pada nilai 0 mm. Deformasi total maksimum terjadi pada area atas hingga bawah helm. Sedangkan bagian atas hingga depan helm juga terjadi deformasi dengan rentang 23-30 mm. Selebihnya deformasi yang terjadi dibawah 23 mm.

Rata-rata deformasi total di nilai 30 mm mengindikasikan adanya tumbukan yang mampu mempengaruhi perlindungan terhadap kepala. Terlihat pada deformasi total ini cukup merata distribusi perpindahan pasca benturan yang terjadi pada helm, meskipun cukup mempengaruhi keamanan [8].

3.3 Equivalent Stress



a



b

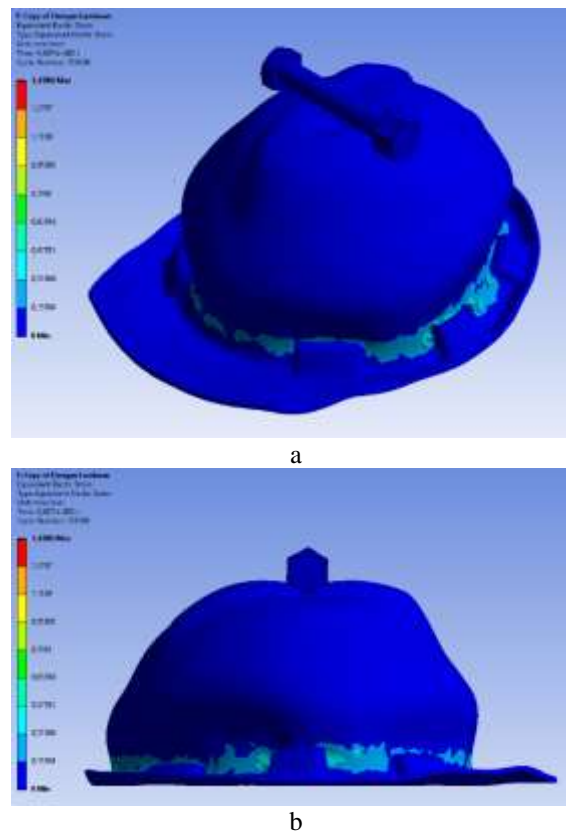
Gambar 7. Equivalent stress (a) isometric (b) sisi kanan

Pada gambar 7 terlihat hasil helm terhadap benturan terkait dengan *equivalent stress*. Kontur gambar untuk *equivalent stress* dapat dilihat pada distribusi warna. Warna biru untuk nilai minimum dan warna merah untuk nilai maksimum.

Sebaran *equivalent stress* terdapat pada sisi bawah melingkar dari depan sampai belakang. Nilai maksimum *equivalent stress* adalah 2101,7 MPa sedangkan nilai minimumnya adalah 0 MPa dengan nilai rata-rata yaitu 10,59 MPa. Terlihat pada sisi kanan dan kiri memiliki kecenderungan yang sama. Efek paling terlihat yaitu adanya kerusakan helm berupa lubang pecahan pada sisi samping kanan dan kiri akibat besarnya tanganan yang diterima oleh helm pada area tersebut [9]. Penerapan *stress* pada helm merupakan salah satu faktor penting untuk mencapai tingkat proteksi yang maksimum [10].

3.4 Equivalent Strain

Pada gambar 8 dibawah ini merupakan sebaran *equivalent strain* pada helm. Terlihat kontur warna merah merupakan *strain* maksimum dan biru merupakan *strain* minimum yang terjadi.



Gambar 8. *Equivalent strain* (a) *isometric* (b) sisi kanan

Tumbukan yang terjadi mengakibatkan maksimum *strain* yang terjadi dengan nilai 1,44 mm/mm serta nilai minimum yaitu 0 mm/mm. Terlihat juga deformasi secara plastis akibat tumbukan dengan nilai *strain* yang maksimum pada 1,44 mm/mm pada area bawah sisi kanan dan kiri helm [11]. Memiliki kecenderungan yang sama dengan distribusi kontur pada *Equivalent stress*, menunjukkan tidak kuatnya helm pada sisi bawah untuk menanggulangi beban pasca tumbukan oleh mur dan baut [12].

3.5 Rekomendasi

Menurut standar SNI ISO 3873:2012 uji ketahanan penetrasi mengharuskan helm memiliki hasil harus tidak tembus [13]. Sedangkan pada hasil ini terdapat *fracture* atau kerusakan pada sisi bawah helm. Untuk rekomendasi bisa menggunakan bahan yang lain yang lebih *ductile* seperti high density polyethylene (HDPE) yang memiliki tingkat *strain* lebih baik, serta material campuran polimer untuk menambah karakteristik material polimer menjadi lebih baik terhadap benturan [14]. Selain material yang digunakan, penambahan ketebalan juga akan memperkuat helm tersebut. Inovasi material yang berupa campuran juga bisa implementasikan untuk meningkatkan performa dari *safety helm* tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisa yang ada dapat disimpulkan bahwa kondisi helm pasca tumbukan dengan mur dan baut pada kecepatan 24,26 m/s mempengaruhi tingkat proteksi terhadap kepala. Arah deformasi yang terpusat di area bawah sisi belakang memiliki nilai maksimum sampai 15,2 mm terhadap sumbu x. Total deformasi yang merata dan memiliki nilai rata-rata 30 mm perpindahan pasca tumbukan. *equivalent stress* yang memiliki nilai maksimum yaitu 2101,7 MPa dan nilai *Equivalent strain* maksimum yaitu 1,44 mm/mm. Helm telah sampai titik putus pada sisi kanan dan kiri area bawah.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Tidar yang telah mendorong dan membiayai program insinyur ini. Serta Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah membantu dalam proses penyusunan artikel.

Daftar Pustaka

- [1] Suhariyanto, R.A., U., R., 2022, “Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Lingkungan Pada Proyek Bandara Di Kabupaten Kediri”, *JOS - Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 104–111.
- [2] McNally, D.S., Whitehead, S., 2013, “A Computational Simulations Study Of The Influence Of Helmet Wearing On Head Injury Risk In Adult Cyclists”, *Accident Analysis and Prevention*, 15–23.
- [3] Z89 1-2014, I., 2014, “American National Standard For Industrial Head Protection”, In V. Arlington, ed., *American National Standards Institute ANSI*.
- [4] Fernandes, O.F., Sousa, R.J., Willinger, R., Deck, C., 2013, “Finite Element Analysis Of Helmeted Impacts And Head Injury Evaluation With A Commercial Road”, *IRCOBI Conference*, 431–442.
- [5] Shankar, S., Nithyaprakash, R., Praveen, S., Kumar, S.S., Sriram, A., 2020, “Analysis Of Motor Cycle Helmet Under Static And Dynamic Conditions Considering Different Materials”, *Materials Today: Proceedings*, .
- [6] Giyahudeen, Mohammad, 2016, “Polypropylene Using Fabrication Of Industrial Workers Safety Helmet”, *IOSR Journal of VLSI and Signal Processing*, 59–66.
- [7] Mukhammad, A.F., Setyoko, B., 2014, “Studi Kelayakan Mekanik Komposit Serat Rami Acak-Polyester Sebagai Bahan Helm Standar SNI”, *TRAKSI*, .
- [8] AL-Rawi, Mohammad, 2023, “Explicit And Computational Fluid Dynamics Analysis Of A Novel Polo Helmet Design: A Parametric Study”, *ASME Jurnal of Engineering and Science in Medical Diagnostic and Therapy*, .
- [9] Somasundaram, A., A., M.K., Ashok, R., Bhoopathi, D., 2020, “Explicit Dynamic Analysis Of Industrial Helmet Manufactured Using Bamboo And Vakka Fiber Composite”, *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 2165–2168.
- [10] Hoang-Vuong, Pham, 2023, “Optimizing Helmet Materials: A Comparative Analysis Of Safety And Cost-Effectiveness”, *Journal of Chemical Health Risks*, 2138–2144.
- [11] Kostopoulos, V., Marcopoulos, Y., Giannopoulos, G., Vlachos, D., 2002, “Finite Element Analysis Of Impacts Damage Response Of Composites Motorcycle Safety Helmets”, *Composites*, .
- [12] Santhosh, J., Wolteji, A., Dabesa, Y., Geneti, D., 2020, “Explicit Analysis Of The Motorbike Helmet At Different Directions During An Accident”, *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, 4890–4898.
- [13] Luluk, I.K., Natsir, D.H., Wardani, T., Dayanti, 2023, “Analisis Kekuatan Dan Ketahanan Kejut Material Safety Helmet Sesuai Standar SNI ISO 3873:2012”, *Jurnal ELEMENTER*, 298–303.
- [14] Salih, S.E., Hamood, A.F., alsalam, 2013, “Comparison Of The Characteristics Of LDPE: PP And HDPE: PP Polymer Blends”, *H. Comparison of the characteristics of LDPE: PP and HDPE: PP polymer blends. Canadian Center of Science and Education*, 33–42.