



KAJI NUMERIK *GROUND PAD SHOE* KENDARAAN TEMPUR DENGAN MODEL MATERIAL *HYPERELASTIC*

**Angki Apriliandi Rachmat^{1,5}, Tatacipta Dirgantara², I Wayan Suweca³,
Yati Mardiyati^{4*}**

¹*Mechanical Engineering Doctoral Program, Faculty of Mechanical and Aerospace
Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

²*Lightweight Structures Research Group, Faculty of Mechanical and Aerospace
Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

³*Mechanical Design Research Group, Faculty of Mechanical and Aerospace
Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

⁴*Materials Science and Engineering Research Group, Faculty of Mechanical and
Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

⁵*Mechanical Engineering Department, Politeknik Negeri Bandung, Bandung*

*Email: mardiyati@material.itb.ac.id

Abstract. *One of the important components of a combat vehicle is the ground pad shoe (GPS) or track pad. GPS that has been developed at this time mostly uses rubber material. Rubber research is quite takes a long time to become a product. To make rubber products is needed special moulds and tests. To solve the high costs and long time involved in rubber research, it is necessary to carry out numerical research. In this study, a numerical study of GPS rubber for combat vehicles was carried out with a hyperelastic material model. The research was conducted experimentally and numerically. Tensile testing is carried out on imported GPS samples which are then used as comparison data for numerical studies. The Mooney-Rivlin, Neo-Hookean, Yeoh, and Ogden hyperelastic models were varied to get the stress and strain values closest to the experimental test. The results of the numerical study show that the best hyperelastic model for the imported GPS rubber model is the Neo-Hookean model. The difference between the FEM and experimental test values for tensile strength and modulus 200% is convenient, with Imported GPS safety factor is three times then maximaum load. In the future, local GPS development must meet a minimum safety factor of imported GPS.*

Kata Kunci: *ground pad shoe, hyperelastic model, numerical study, rubber.*

1 Pendahuluan

Tugas TNI dalam menjaga kedaulatan negara dan keutuhan NKRI perlu didukung dengan peralatan tempur yang memadai seperti dituangkan dalam Undang-Undang nomor 34 tahun 2004 [1] dan Permenhan nomor 46 tahun 2016

[2]. Dalam melaksanakan tugas TNI tersebut, maka pengembangan peralatan tempur untuk sistem pertahanan negara sangat penting untuk dilakukan. Dalam pengembangan peralatan tempur di Indonesia dilakukan oleh BUMN PT Pindad. PT Pindad bekerja sama dengan perusahaan FNSS Turki dalam pembuatan kendaraan tempur (ranpur) *tank* medium sejak tahun 2016 [3].

Salah satu komponen penting pada ranpur adalah *ground pad shoe* (GPS) atau *track pad*. GPS adalah tapak pada roda ranpur *tank* yang berfungsi untuk melindungi komponen roda bergesekan langsung dengan jalan. GPS yang dibutuhkan pada sebuah ranpur *tank* medium mencapai 344 buah. Dari informasi berita *online*, Indonesia akan membuat 44 *tank* [4], kemudian berencana akan mengekspor 120 *tank* [5], maka apabila rencana tersebut terealisasi, total kebutuhan GPS mencapai 56.416 buah. GPS juga dibutuhkan untuk suku cadang yaitu 30% dari GPS yang terpasang atau 16.925 GPS per tahun. Sehingga total kebutuhan GPS mencapai 73.341 buah per tahun. Walaupun demikian, saat ini GPS masih impor dari Turki dengan waktu tunggu mencapai satu tahun dan jumlah pembelian harus banyak, karena GPS diproduksi pada saat ada pesanan.

Pada Penelitian sebelumnya tahun 2020, telah dilakukan karakterisasi kekuatan mekanik dan kaji numerik umur GPS impor dari Turki [6][7]. Pada penelitian karakterisasi GPS impor yang dilakukan Hisyam telah didapatkan data berupa *tensile strength*, *hardness*, *modulus 200%*, *elongation*, *specific gravity*, dan *abrasion resistance* [6]. Pada penelitian kaji numerik yang dilakukan Novia telah memodelkan umur GPS [7]. Penelitian GPS di Amerika Serikat (US) telah dilakukan sejak tahun 70-an oleh beberapa orang dan lembaga. Penelitian awal di Amerika dilakukan oleh Edward W. Bergstorm [8] pada tahun 1975 yang meneliti *track pad* dari material EPDM dan pale crepe. Pada penelitian Bergstorm, didapatkan hasil umur desain *track pad* adalah 5.950 km. Data lainnya mengenai *track pad* dikutip oleh Sunday Star Ledger [9] tahun 1983 dari sumber Pentagon menuliskan bahwa target usia *track pad tank* US adalah minimal 2000 miles atau 3400 km. Kemudian Touchet [10] pada US patent tahun 1993 membuat *track pad* menggunakan *nitrile butadiene rubber* (NBR) dengan *filler carbon black* mampu mencapai jarak tempuh 3.000 miles atau 5.100 km. Kemudian berbagai produk *track pad* untuk alat berat yang mirip untuk ranpur sudah diproduksi oleh beberapa pabrikan seperti Komatsu, ITR, Hutchinson, hingga lokal Indonesia oleh PT Indopulley perkasa. Dari berbagai referensi penelitian dan produk *track pad* di pasaran, semua material *track pad* atau GPS menggunakan bahan dasar karet.

Bahan dasar karet di Indonesia sangat banyak jumlahnya. Dari data asosiasi karet dunia (ANPC) [11], pada tahun 2018, Indonesia menempati penghasil karet terbesar kedua di dunia dengan jumlah produksi 3,5 juta ton atau 25% dari

seluruh hasil dunia. Namun penggunaan karet untuk di dalam negeri Indonesia hanya 0,5 juta ton. Data dari badan penelitian dan pengembangan pertanian [12], kebun karet akan terus dikembangkan hingga mencapai 1,2 juta pohon pada tahun 2025.

Karet alam dapat dipadukan dengan beberapa material lain yang mampu meningkatkan karakteristik mekanik dari karet [13]. Karet mampu dipadukan dengan material lain karena memiliki rantai molekul yang fleksibel [14]. Dalam publikasi Yiran Fan [15] menyebutkan bahwa karet alam memiliki keunggulan dalam kekuatan yang tinggi, ketangguhan yang tinggi, dan kegunaan diberbagai bidang. Flanagan et al [16] telah meneliti karet alam SIR 20 dengan karbon black menghasilkan tensile strength 27,8 MPa, *modulus 200%* sebesar 6 MPa, dan *hardness* 65 shore A. Arti [17] meneliti penambahan silika pada karet mampu meningkatkan ketahanan abrasi. Putra [18] dan Purba [19] meneliti penambahan *lignin kraft* pada komponen *tread* ban menghasilkan peningkatan sifat *modulus 300%*, *rolling resistance*, dan *heat build up*, namun menurunkan kemampuan proses, kekuatan tarik, pertambahan panjang, ketahanan abrasi, dan *friction*. Kendala pada karet juga ditunjukkan oleh Z. Zhang [20], dimana untuk pembuatan produk karet membutuhkan *molding* dengan presisi tinggi dan mesin *press* yang besar dan relatif mahal. Liu [21] juga melakukan uji eksperimental *track pad* dengan membuat kendaraan khusus dan *track pad* dalam ukuran sebenarnya pada area yang luas, hal itu pasti membutuhkan modal dan sumber daya yang besar. Dari beberapa penelitian di atas, terlihat bahwa penelitian karet pada skala sebenarnya membutuhkan biaya tinggi.

Penelitian karet dilakukan secara numerik untuk menghemat biaya dan waktu. Ihueze [22] meneliti karet alam dari *tea seed oils* secara numerik menggunakan Ansys menghasilkan model *hyperelastic* Arruda-Boyce, Mooney-Rivlin 9 Parameter, Polynomial 3rd Order dan Yeoh 3rd Order paling cocok. Kaji numerik yang dilakukan menggunakan data uji *uniaxial* dan *fitting* model *hyperelastic* yang sesuai dengan data uji. Novia [6] melakukan penelitian awal GPS secara numerik dengan pendekatan beban berulang menghasilkan umur pakai GPS impor ranpur tipe medium adalah 500 km. Gudsoorkar meneliti karet ban vulkanisasi dengan model *hyperelastic* perangkat lunak abaqus menghasilkan model Yeoh dan Arruda-Boyce yang paling cocok. Gudsoorkar [23] melakukan validasi kaji numerik dengan ban vulkanisasi asli yang diuji *uniaxial* dan *planar-tension*. A. Rajesh [24] melakukan penelitian karakterisasi material *hyperelastic propellant rubber like material*. Rajesh menggunakan model spesimen uji tarik untuk validasi simulasi *finite element* dengan data eksperimental. Dalam pengembangan komposit polipropinela high impact dibuat dengan spesimen uji tarik dengan metoda injeksi molding sama seperti yang dilakukan pada karet [30]. W. Hongyu [25] melakukan penelitian simulasi pembentukan plat dengan landasan rubber pad dengan molding *convex* dan

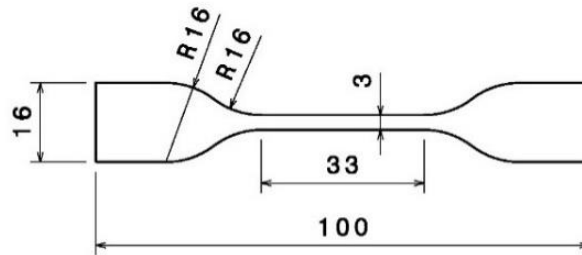
concave menggunakan perangkat lunak Abaqus. Hasil kaji numerik molding *convex* dan *concave* dibandingkan dengan uji eksperimental secara visual gambar menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan karena adanya *srinkage*. T. Fei [26] melakukan kaji numerik dengan memodelkan *rubber pad* yang dibebani secara pasif atau aktif hasilnya menunjukkan keduanya dapat digunakan untuk manufaktur *sheet metal micro channel*. Li [27] menggunakan model Neo-hookean, Mooney-rivlin, Yeoh, dan Ogden untuk menganalisis rubberlike materials. He [28] membahas 85 model hyperelastic yang terbagi menjadi phenomenological model dan micromechanical network model. Untuk memvalidasi hasil kaji numerik dengan uji eksperimental dengan batas eror sebesar 5% [29].

Dari latar belakang di atas, terlihat bahwa pengembangan GPS dengan menggunakan bahan baku karet alam Indonesia sangat berpotensi baik untuk dilakukan. Potensi baik terlihat dari (1) kebutuhan GPS mencapai puluhan ribu buah per tahun, (2) waktu tunggu pengadaan GPS impor yang perlu dipangkas, (3) *down time* ranpur yang harus diturunkan, (4) bahan baku karet alam Indonesia yang tersedia dalam jumlah besar, (5) hingga untuk menciptakan kemandirian bangsa dalam produk berbasis karet. Untuk mendukung potensi baik tersebut, maka diperlukan penelitian kaji numerik GPS pada kendaraan tempur dengan model *hyperelastic* yang divalidasi dengan uji ekperimental dari GPS impor.

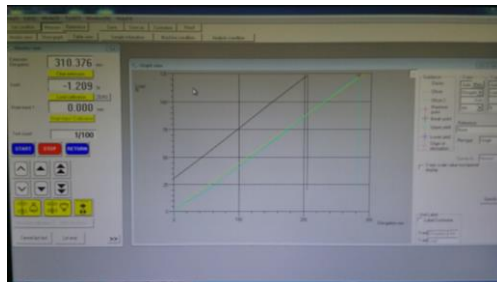
2 Material dan Metode

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dan *numerical*. Metode eksperimental berupa uji tarik GPS impor menjadi validator untuk kaji numerik. GPS impor dipilih dipilih sebagai acuan penelitian karena GPS yang diteliti harus mampu menggantikan GPS impor. Uji tarik dilakukan mengacu pada ASTM D412 [31]. GPS impor yang digunakan berupa produk GPS yang sudah jadi seperti pada Gambar 1. GPS impor dibentuk menjadi spesimen uji tarik dengan bentuk dan dimensi seperti pada Gambar 2.



Gambar 1 GPS terpasang pada ranpu**Gambar 2** Dimensi spesimen uji tarik mengacu ASTM D412 die D

Uji tarik dilakukan pada alat uji tarik dengan sistem komputer. Spesimen dicekam pada bagian dimensi lebar 16 mm. Parameter yang dikontrol adalah *elongation* pada kecepatan penarikan 500 mm/menit. Data hasil uji yang direkam adalah *elongation*, gaya peneriman, dan lokasi putus. Hasil uji tarik diolah menjadi *stress* dan *strain* untuk dijadikan input pada kaji numerik. Proses uji tarik dengan sistem komputer dapat dilihat di Gambar 3.

**Gambar 3** Proses uji tarik spesimen GPS impor (a) Pengaturan specimen pada alat (b) Hasil uji tarik diproses oleh komputer

Kaji numerik model GPS dilakukan setelah kaji numerik uji tarik dinyatakan valid. Kaji numerik GPS dilakukan pada beban statis atau saat ranpur diam. Beban GPS berasal dari ranpur seberat 35 ton yang dibagi ke 24 GPS yang menumpu saat bersamaan. Metode kaji numerik GPS hampir sama dengan proses kaji numerik spesimen uji tarik hanya berbeda model dan pembebanan. Akhirnya dari olah data kaji numerik model GPS didapatkan nilai *tensile*

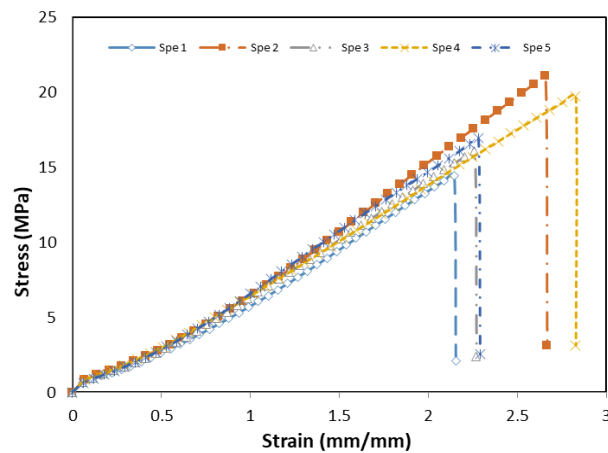
strength, *modulus 200%*, dan faktor keamanan GPS impor yang dihitung secara numerik.

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil uji eksperimental berupa uji tarik GPS impor ditunjukkan pada tabulasi data di Tabel 1. Nilai *elongation* dan *load* yang tertera di tabel adalah nilai maksimum. Hasil pengujian kelima spesimen menunjukkan bentuk grafik *stress-strain* mendekati linear hingga titik maksimum, kemudian menurun tajam hingga nol setelah spesimen putus. Grafik *stress-strain* hasil uji tarik ditunjukkan pada Gambar 4. Dari kelima spesimen dipilih spesimen no 5 yang mewakili uji tarik GPS impor mengacu pada ASTM D412.

Tabel 1. Tabulasi data hasil uji tarik GPS impor

Nomor Spesimen	Elongation (mm)	Load (N)	Luas Penampang (mm ²)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)
1	214	82	5.7	14	2.1
2	266	123	5.9	21	2.7
3	226	120	7.5	16	2.3
4	282	123	6.2	20	2.8
5	228	133	7.8	17	2.3
Nilai Median				17	2.3



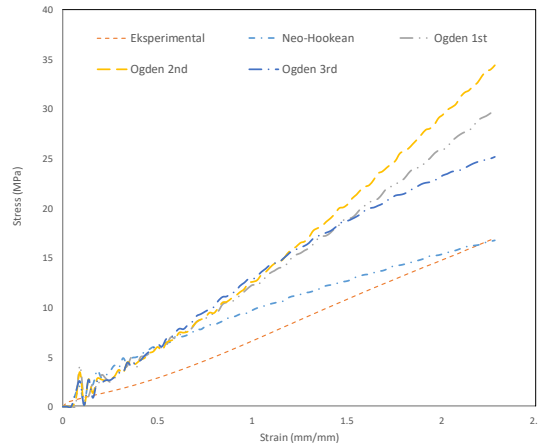
Gambar 4 Grafik *stress-strain* uji tarik GPS impor

Hasil analisis material kaji numerik menunjukkan 4 model *hyperelastic* paling stabil untuk GPS impor. Hasil analisis model *hyperelastic* ditunjukkan pada Tabel 2. Dari analisis juga diketahui nilai parameter setiap model *hyperelastic* seperti ditampilkan pada

Tabel 2. Model *hyperelastic* yang dianalisis

Model Hyperelastic	Stabilitas
Mooney-Rivlin	Tidak stabil
Polynomial 2 nd order	Tidak stabil
Ogden 1 st order	Stabil
Ogden 2 nd order	Stabil
Ogden 3 rd order	Stabil
Neo-Hookean	Stabil
Yeoh	Tidak stabil

No	Model		C10	C01	D
1	Neo-Hookean		1,739	0	0
			Mu	Alpha	D
2	Ogden 1st order	1	2,465	3,027	0
3	Ogden 2nd order	1	0,908	3,087	0
		2	2,425	-6,705	
4	Ogden 3rd order	1	0,908	3,087	0
		2	2,425	-6,705	0
		3	2,425	-6,705	0



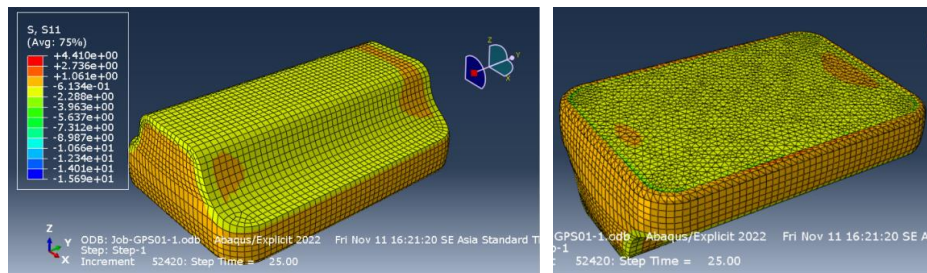
Gambar 5. Grafik *stress-strain* uji eksperimental dan kaji numerik

Hasil validasi kaji numerik model uji tarik menunjukkan model Neo-Hookean yang paling mendekati hasil uji eksperimental. Model Neo-Hookean memiliki nilai *error* dibawah 10%, sedangkan model Ogden memiliki *error* lebih dari 40%. Grafik *stress-strain* dari hasil uji eksperimental dan model *hyperelastic* ditunjukkan pada Gambar 5. Dari kaji numerik model Neo-Hookean GPS impor didapatkan *tensile strength* 16,75 MPa atau *error* 1% dan *modulus 200%* 14,7 MPa atau nilai *error* 4%. Nilai *tensile strength*, *modulus 200%* dan *error* untuk semua model *hyperelastic* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Tensile strength* dan *modulus 200%* antara kaji numerik dan uji eksperimental

Metode/Model	Tensile Strength (MPa)	Error (%)	Modulus 200% (MPa)	Error (%)
Uji eksperimental	16,93	baseline	14,7	baseline
Neo-Hookean	16,75	1	15,3	4
Ogden 1st order	29,88	76	25,8	76
Ogden 2nd order	34,43	103	29,1	98
Ogden 3rd order	25,17	49	23	57

Hasil kaji numerik pada model GPS menunjukkan tegangan maksimum terjadi pada bagian bawah-paling luar GPS. Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 4,4 MPa. Apabila dibandingkan dengan *tensile strength* material GPS impor sebesar 16,75 MPa, maka GPS impor memiliki faktor keamanan 3,8. Hasil kaji numerik GPS ditampilkan pada Gambar 6.



a. distribusi tegangan pada GPS tampak atas

b. tampak bawah

Gambar 6. Deformasi GPS hasil kaji numerik

4 Kesimpulan

Model *hyperelastic* terbaik pada kaji numerik karet GPS impor ranpur *tank* medium adalah model Neo-Hookean dengan nilai $C10=1,739$ dan $D=0$. GPS impor memiliki *tensile strength* 16,75 MPa dan *modulus 200%* 14,7 MPa. GPS impor mampu menahan beban *tank* pada kondisi beban statis dengan faktor keamanan 3,8.

Untuk penelitian ke depan direkomendasikan menggunakan model Neo-Hookean. Urutan kajian numerik pada penelitian ini juga dapat digunakan untuk kajian model *hyperelastic*. Untuk pengembangan GPS lokal harus memenuhi *safety faktor* minimal 3,8.

5 Ucapan Terima Kasih

Kami berterima kasih kepada ITB dan LPDP atas dukungan alat, perangkat lunak, dan pendanaan penelitian.

6 Referensi

- [1] UU no 34 tahun 2004
- [2] Permenhan no 46 tahun 2016
- [3] <https://www.pindad.com> (10 September 2020)
- [4] www.dw.com (10 September 2020)
- [5] www.bisnis.tempo.com (31 Maret 2021)
- [6] Novia, *Analisis Komponen Ground Pad Shoe pada Aplikasi Kendaraan Tempur untuk Memperkiraan Usia Pakai Komponen*, Skripsi S1 ITB, 2020
- [7] Hisyam, M., *Rekayasa Balik Rubber Track Pad untuk Medium Weight Tank*, Skripsi S1 ITB, 2020

- [8] Bergstorm E.W., 1975, *Technical Report; Wear Resistant Rubber Tank Track Pads*, General Thomas J. Rodman Laboratory
- [9] Sunday Star Ledger, 1983,
- [10] Touchet US Patent, United states Patent; *Rubber Compound For Track Vehicle Tracks Pad*, (PN 5,264,290; 23 Nov 1993 www.anrpc.org (7 September 2020))
- [11] Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, *Prospek dan Arah pengembangan agribisnis karet*, 2005
- [12] www.anrpc.org (7 September 2020)
- [13] Erman, B., Mark, J.E., Roland, C.M., *The Science and Rubber Technology Fourth Edition*, Elsevier, 2013.
- [14] Lindley, T.B., *Engineering Design with Natural Rubber*, The Malaysian Rubber Producers Research Association, 1978.
- [15] Fan, Y., Fowler, G.D., Zhao, M., *The Past, Present and Future of Carbon Black as a Rubber Reinforcing Filler - A Review*, Journal of Cleaner Production, **247**, 119115, 2020.
- [16] Flanagan, D.P., Touchet, P., & Feuer, H.O., *Elastomers for Tracked Vehicles: 1980-1997 Program to Improve Durability of Rubber Tank Pads for Army Tracked Vehicles*, Army Research Lab Aberdeen Proving Ground Md Weapons and Materials Research, 2015.
- [17] Arti, D.K., *Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Pengisi Carbon Black dan Silika pada Sifat Viskoelastis Kompon Karet untuk Tread Ban*, Majalah Kulit, Karet, dan Plastic, e-ISSN: 2460-4461, 2018.
- [18] Putra, D.A., *Pemanfaatan Lignin Kraft sebagai Bahan Pengganti Resin, Carbon Black, dan Filler Additive pada Vulkanisat Komponen Tread Ban Pcr*, Tugas Sarjana ITB, 2017.
- [19] Purba, L.S.M., *Pemanfaatan Kraft Lignin sebagai Pengganti Resin dan sebagai Silika untuk Bahan Pengisi pada Vulkanisat Ban SUV*, Tugas Sarjana ITB, 2017.
- [20] Zhang, Z., Guo, F., Ke, Y., Xiang, C., Jia, X., *Effect of Vulcanization on Deformation Behavior of Rubber Seals: Thermal–Mechanical–Chemical Coupling Model, Numerical Studies, and Experimental Validation*
- [21] Liu, W., *Failure Analysis of the Rubber Track of a Tracked Transporter*, Advanced in Mechanical Engineering, **10**, 201
- [22] Ihueze, C.C., & Mgbemena, C.O., *Modeling Hyperelastic Behavior of Natural Rubber or Organomodified Kaolin Composites*

- Oleochemically Derived from Tea Seed Oils (Camellia sinensis) for Automobile Tire Side Walls Application*, Journal of Scientific Research & Reports, **3**(19), pp. 2528-2542, 2014.
- [23] Gudsoorkar, U., Bindu, R., *Computer Simulation Of Hyperelastic Re-Treaded Tire Rubber With ABAQUS*, Materials Today: Proceeding, **43**, pp. 1992-2001, 2020.
- [24] Rajesh, A., Narayana, B.S., Sreeramulu, K., *Characterization of Hyperelastic Material Using Experimental Data and Finite Element Simulation*, Materials Today: Proceedings, **24**, pp. 1660–1669, 2020.
- [25] Hongyu, W., Fei, T., Zhen, W., Pengchao, Z., Juncai, S., Shijun, J., *Simulation Research About Rubber Pad Forming of Corner Channel with Convex or Concave Mould*, Journal of Manufacturing Processes, **40**, pp. 94-104, 2009.
- [26] Fei, T., Hongyu, W., Shengnan, S., Lei, J., Juncai, S., Jie, S., Hongshuang, D., Shunhu, Z., *Simulation and Experimental Researches on Multi-Plate Rubber Pad Forming of Two-Step Micro-Channel Based on Different Forming Driving Models*, Journal of Advanced Manufacturing Technology, **120**, 2022, p4147-4157
- [27] Li, X., Wei, Y., *Classic Strain Energy Functions and Constitutive Tests of Rubberlike Materials*, Rubber Chemistry and Technology, **88** (4), pp. 604–627, 2015.
- [28] He, H., Zhang, Q., Zhang, Y., Chen, J., Zhang, L., Li, F., *A Comparative Study of 85 Hyperelastic Constitutive Models for Both Unfilled Rubber and Highly Filled Rubber Nanocomposite Material*, Nano Materials Science, 2021
- [29] Nur Muhammad Malikul Adil, Muhammad Agus Kariem, *Numerical Study of Friction Behavior In Pneumatic Seal Cylinder*, Mesin, **28**(1), 2019
- [30] Mardiyati, Srahputri, N., Steven, Suratman, R., *Sifat Tarik dan Sifat Impak Komposit Polipropilena High Impact Berpenguat Serat Rami Acak yang Dibuat dengan Metode Injection Molding*, MESIN, **26**(1), 2017
- [31] ASTM D412 Standard Method of Tension Testing of Vulcanized Rubber