UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Optimasi Parameter Proses 3D Printing Material TPU terhadap Aspek Hardness, Stiffness, dan Printing
Time untuk Aplikasi Cushioning Insole**
Rakha Fa'iq Muyassar, Prof. Dr. Eng. Ir. Herianto, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Distribusi tekanan plantar yang tidak merata dapat menurunkan kenyamanan dan meningkatkan risiko keluhan muskuloskeletal. *Cushioning insole*, yaitu komponen alas kaki yang berfungsi menyerap dan mendistribusikan beban impak secara merata, kini mulai dikembangkan menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU). Namun, optimasi parameter FDM pada TPU masih menjadi tantangan karena perlu mempertimbangkan beberapa respons secara simultan, sementara penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada satu tingkat hardness material atau respons mekanik tertentu.

Penelitian ini mengoptimasi empat parameter FDM yaitu *infill density*, *infill pattern*, *print speed*, dan *layer height* pada TPU 85A, TPU 90A, dan TPU 95A menggunakan metode Taguchi-*Grey Relational Analysis* (GRA). Tiga eksperimen independen dirancang menggunakan *orthogonal array* L9 dengan tiga replikasi per *run*. Respons yang dioptimasi meliputi *hardness*, *compressive stiffness*, dan *printing time* dengan bobot masing-masing 0,4; 0,4; dan 0,2 dalam perhitungan *Grey Relational Grade* (GRG).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor dominan bersifat *material-dependent*: *infill pattern* pada TPU 85A (54,65%), *print speed* pada TPU 90A (37,56%), dan *infill density* pada TPU 95A (46,20%). *Layer height* 0,20 mm secara konsisten menjadi parameter optimum pada ketiga material. Kombinasi parameter optimum yang diperoleh adalah 16%–*Gyroid*–10 mm/s–0,20 mm untuk TPU 85A, 10%–*Cubic*–50 mm/s–0,20 mm untuk TPU 90A, dan 10%–*Gyroid*–100 mm/s–0,20 mm untuk TPU 95A. TPU 85A menunjukkan performa multi-respons terbaik (*grand mean* GRG = 0,671) karena *mean hardness*-nya paling mendekati target 45 Shore A (45,11 Shore A), menjadikannya material yang paling sesuai untuk aplikasi *cushioning insole*.

Kata Kunci: *Additive Manufacturing*, FDM, TPU, Taguchi, *Grey Relational Analysis*, *Cushioning Insole*

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printing Material TPU terhadap Aspek Hardness, Stiffness, dan Printing Time untuk Aplikasi Cushioning Insole
Rakha Fa'iq Muyassar, Prof. Dr. Eng. Ir. Herianto, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Uneven plantar pressure distribution can reduce comfort and increase the risk of musculoskeletal complaints. Cushioning insoles, which are footwear components designed to absorb and distribute impact loads evenly, have recently been developed using Fused Deposition Modeling (FDM) technology with Thermoplastic Polyurethane (TPU) material. However, optimizing FDM parameters for TPU remains challenging as multiple responses must be considered simultaneously, while previous studies have generally focused on a single hardness level or specific mechanical response.

This study optimizes four FDM parameters, namely infill density, infill pattern, print speed, and layer height, for TPU 85A, TPU 90A, and TPU 95A using the Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA) method. Three independent experiments were designed using an L9 orthogonal array with three replications per run. The optimized responses were hardness, compressive stiffness, and printing time, weighted at 0.4, 0.4, and 0.2 respectively in the Grey Relational Grade (GRG) calculation.

Results indicate that the dominant factor is material-dependent: infill pattern for TPU 85A (54.65%), print speed for TPU 90A (37.56%), and infill density for TPU 95A (46.20%). A layer height of 0.20 mm consistently yielded the optimum level across all three materials. The optimum parameter combinations obtained were 16%–Gyroid–10 mm/s–0.20 mm for TPU 85A, 10%–Cubic–50 mm/s–0.20 mm for TPU 90A, and 10%–Gyroid–100 mm/s–0.20 mm for TPU 95A. TPU 85A demonstrated the best multi-response performance (grand mean GRG = 0.671) as its mean hardness most closely approached the target of 45 Shore A (45.11 Shore A), making it the most suitable material for cushioning insole applications.

Keywords: Additive Manufacturing, FDM, TPU, Taguchi, Grey Relational Analysis, Cushioning Insole