UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan dan Simulasi Numerik Ekstraksi Nira Tebu Berbasis Mekanika Media Berpori Dua Fase Melalui
Analisis Hidro-Mekanis Terkopel**
Ari Wibowo, Prof. Dr. Ir. Gesang Nugroho, S.T., M.T., IPM; Ir. Muhammad Akhsin Muflikhun, ST, MSME., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Industri gula Indonesia masih menghadapi tantangan dalam meningkatkan kinerja produksi dan efisiensi proses, khususnya pada tahap ekstraksi nira di stasiun gilingan. Proses ekstraksi umumnya masih didominasi pendekatan empiris, sementara pemodelan yang mampu merepresentasikan interaksi antara deformasi matriks serat dan aliran fluida dalam cacahan tebu masih terbatas. Secara fundamental, ekstraksi nira merupakan proses hidro-mekanis pada media berpori dua fase yang melibatkan deformasi padatan dan aliran fluida secara terkopel. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model numerik ekstraksi nira tebu berbasis mekanika media berpori dua fase dengan pendekatan terkopel tekanan pori–perpindahan (*coupled pore pressure–displacement*) untuk merepresentasikan fenomena ekstraksi secara lebih komprehensif.

Penelitian dilakukan melalui integrasi pengujian eksperimental dan simulasi numerik. Pengujian digunakan untuk memperoleh karakteristik fisik, mekanik, dan morfologi cacahan tebu pada berbagai nilai *preparation index* (PI), serta mengevaluasi pengaruh tekanan, kecepatan penekanan, dan PI terhadap kinerja ekstraksi. Data eksperimental selanjutnya digunakan sebagai parameter masukan model numerik, dengan cacahan tebu direpresentasikan sebagai media berpori dua fase. Validasi model dilakukan melalui perbandingan respons gaya simulasi dengan hasil pengujian kompresi aksial terkungkung. Model tervalidasi kemudian diterapkan pada sistem gilingan skala industri untuk mengevaluasi respons gaya, tekanan pori, deformasi, dan kebutuhan daya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan, kecepatan penekanan, dan PI berpengaruh terhadap kinerja ekstraksi nira. Titik optimum estimatif diperoleh pada PI sekitar 90,8%, dengan rentang operasional yang direkomendasikan sebesar 90–93%. Model numerik mampu merepresentasikan respons mekanik dan hidro-mekanik cacahan tebu dengan baik, ditunjukkan oleh kesesuaian respons gaya simulasi terhadap hasil pengujian kompresi aksial terkungkung. Pada aplikasi skala industri, model menghasilkan kebutuhan daya total sebesar 320,93 kW, yang berada dalam rentang empiris yang direkomendasikan untuk pabrik berkapasitas 5.500 TCD. Perbandingan terbatas dengan data operasional menunjukkan galat torsi sebesar 11,3% pada rol atas, 20,1% pada rol depan, dan 11,8% pada rol belakang, dengan rata-rata galat absolut sebesar 14,4%. Karena kecepatan putar simulasi dan kondisi aktual belum identik, hasil tersebut diposisikan sebagai evaluasi kesesuaian industri secara terbatas. Dengan demikian, model yang dikembangkan dapat digunakan untuk memahami fenomena ekstraksi nira serta mendukung evaluasi dan optimasi parameter operasional serta peningkatan efisiensi energi pada stasiun gilingan tebu.

Kata kunci: ekstraksi nira tebu, mekanika media berpori dua fase, hidro-mekanis terkopel, *preparation index* (PI), pemodelan numerik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan dan Simulasi Numerik Ekstraksi Nira Tebu Berbasis Mekanika Media Berpori Dua Fase Melalui
Analisis Hidro-Mekanis Terkopel**
Ari Wibowo, Prof. Dr. Ir. Gesang Nugroho, S.T., M.T., IPM; Ir. Muhammad Akhsin Muflikhun, ST, MSME., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The Indonesian sugar industry continues to face challenges in improving production performance and process efficiency, particularly during sugarcane juice extraction at the milling station. In practice, juice extraction is still largely governed by empirical approaches, while numerical models capable of representing the interaction between fiber-matrix deformation and fluid flow within prepared cane remain limited. Fundamentally, juice extraction is a hydro-mechanical process in a two-phase porous medium involving coupled solid deformation and fluid flow. This study therefore aims to develop a numerical model of sugarcane juice extraction based on two-phase porous media mechanics using a coupled pore pressure–displacement formulation to provide a more comprehensive representation of the extraction process.

The research integrated experimental testing and numerical simulation. Experimental tests were conducted to determine the physical, mechanical, and morphological characteristics of prepared cane at different preparation index (PI) values and to evaluate the effects of pressure, compression speed, and PI on extraction performance. The experimental data were subsequently used as input parameters for the numerical model, in which prepared cane was represented as a two-phase porous medium. Model validation was performed by comparing simulated force responses with confined axial compression test results. The validated model was then applied to an industrial-scale milling system to evaluate force response, pore pressure, deformation, and power requirements.

The results show that pressure, compression speed, and PI affect sugarcane juice extraction performance. An estimated optimum PI of approximately 90.8% was obtained, with a recommended operational range of 90–93%. The numerical model satisfactorily represented the mechanical and hydro-mechanical responses of prepared cane, as indicated by the agreement between simulated force responses and experimental compression results. At industrial scale, the model predicted a total power requirement of 320.93 kW, which falls within the recommended empirical range for a 5,500 TCD sugar factory. A limited comparison with operational data showed torque errors of 11.3%, 20.1%, and 11.8% for the top, front, and back rolls, respectively, with a mean absolute error of 14.4%. Because the simulated and actual roll speeds were not identical, the comparison was regarded as a limited industrial consistency assessment. Overall, the developed model provides an analytical framework for understanding juice extraction phenomena and supporting the evaluation and optimization of operating parameters and energy efficiency in sugarcane milling stations.

Keywords**:** sugarcane juice extraction, two-phase porous media mechanics, coupled hydro-mechanical analysis, preparation index (PI), numerical modelling.