

Hidrogel berbasis polimer alami dari bahan selulosa merupakan material biokompatibel dan biodegradabel yang memiliki struktur jaringan tiga dimensi mampu menyerap air dalam jumlah besar, sehingga berpotensi diaplikasikan pada berbagai bidang khususnya sebagai penahan air di sektor pertanian. Namun demikian, hidrogel jenis ini umumnya memiliki kekuatan mekanis yang rendah ketika mengalami *swelling*, sehingga diperlukan modifikasi melalui penambahan penguat anorganik seperti silika. Silika geothermal (SG) sebagai produk samping dari pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan kandungan SiO_2 lebih dari 95%, memiliki potensi menjanjikan sebagai penguat anorganik pada hidrogel karena bersifat hidrofilik dan struktur berpori.

Dalam penelitian ini, hidrogel berbasis *Sodium Carboxymethylcellulose* (CMCNa) disintesis menggunakan asam sitrat (AS) sebagai agen *crosslinker* dan silika geothermal dalam bentuk natrium silikat sebagai penguat anorganik dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja *swelling* dan kekuatan mekanis hidrogel. Variasi rasio AS/CMCNa dan SG/CMCNa dilakukan untuk mengetahui kinerja dan kinetika *swelling* yang terjadi. *Response Surface Methodology* (RSM) dilakukan untuk mengetahui kondisi maksimum *swelling* yang terjadi dan variabel yang paling signifikan terhadap *swelling* hidrogel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan SG pada berat rendah hingga moderat mampu meningkatkan kemampuan *swelling* dan kekuatan mekanis dibandingkan dengan hidrogel tanpa SG, sedangkan penggunaan AS pada berat rendah dapat meningkatkan kemampuan *swelling* namun menurunkan kekuatan mekanis hidrogel. Hidrogel dengan *swelling* tertinggi dan stabilitas yang baik diperoleh pada rasio berat 3% SG dan 1,5% AS sebesar 150,47 g air/g hidrogel selama 24 jam perendaman. Sementara itu, kekuatan mekanis tertinggi dicapai pada rasio 3% SG dan 2,5% AS sebesar 52,93 MPa. Berdasarkan hasil RSM, rasio AS/CMCNa merupakan variabel yang paling signifikan terhadap *swelling* hidrogel. Model kinetika *Pseudo - Second Order* (PSO) diperkirakan merupakan model yang paling sesuai untuk menggambarkan kinetika *swelling* yang terjadi.

Kata kunci: Hidrogel, Silika geothermal, CMCNa, *Swelling*, *Response Surface Methodology*

Natural polymer-based hydrogels derived from cellulose are bio-compatible and biodegradable materials with three-dimensional network structures capable of absorbing large amounts of water, making them promising candidates for various applications, particularly as water-retaining agents in agricultural systems. However, these hydrogels generally exhibit low mechanical strength upon swelling, thereby requiring modification through the incorporation of inorganic reinforcing materials such as silica. Geothermal silica (GS), a by-product of geothermal power plants with a SiO₂ content exceeding 95%, offers strong potential as an inorganic reinforcing agent due to its hydrophilic nature and porous structure.

In this study, sodium carboxymethylcellulose (CMCNa)-based hydrogels were synthesized using citric acid (CA) as a chemical crosslinker and geothermal silica in the form of sodium silicate as an inorganic reinforcing agent, with the aim of improving both swelling capacity and mechanical strength. Various CA/CMCNa and GS/CMCNa mass ratios were examined to evaluate the swelling performance and swelling kinetics. Response Surface Methodology (RSM) was employed to determine the optimal swelling conditions and to identify the most significant variables affecting the hydrogel swelling behavior.

The results showed that the incorporation of GS at low to moderate mass ratios improved both the swelling ability and mechanical strength compared to hydrogels without GS, whereas low CA concentrations enhanced swelling but reduced mechanical robustness. The hydrogel exhibiting the highest swelling capacity with good structural stability was obtained at 3% GS and 1,5% CA, achieving 150,47 g water/g hydrogel after 24 hours of immersion. Meanwhile, the maximum mechanical strength (52,93 MPa) was observed at a composition of 3% GS and 2,5% CA. Based on the RSM analysis, the CA/CMCNa ratio was identified as the most significant variable influencing swelling performance. The swelling kinetics were best described by the Pseudo - Second Order (PSO) model.

Keywords: Hydrogel, Geothermal silica, CMCNa, Swelling, Response Surface