



Pengaruh Iradiasi Gamma dan Asam Akrilat terhadap Sifat Mekanik Polimer *Super Water Absorbent* (SWA) Berbasis Onggok

Indah Puspita^{1,*}, Mersi Kurniati², Christina Winarti³

¹Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

Jl. Kampus Peradaban, Kampus Terpadu Balunijuk Gd. Dharma Penelitian Lt 1, Bangka 33172, Bangka Belitung, Indonesia

²Divisi Biofisika, Departemen Fisika, IPB University

Jl. Meranti Wing S Level 5, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

³ Kelompok Riset Peningkatan Nilai Tambah Produk Pertanian, Pusat Riset Agroindustri, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Jl. Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 1531, Banten, Indonesia

*E-mail korespondensi: indahpuspita@ubb.ac.id

Info Artikel:

Dikirim:

1 Juni 2023

Revisi:

16 Juni 2023

Diterima:

30 Juni 2023

Kata Kunci:

Onggok; Super Water Absorbent Polymer; Acrylic Acid

Abstract

The Super Water Absorbent (SWA) polymer is a type of polymer that has exceptional water absorption capabilities while remaining insoluble in water. In this study, the authors conducted research on the modification of SWA by including acrylic acid and acrylamide monomers, followed by a crosslinking process utilising gamma irradiation. This study investigated the impact of acrylic acid and gamma irradiation on the mechanical characteristics of SWA. The experimental findings demonstrated a notable enhancement in the mechanical properties of the hydrogel by the incorporation of acrylic acid. This was evidenced by a substantial rise in the hardness value, which rose from 11.09 mJ to 36.13 mJ.

PENDAHULUAN

Polimer super water absorben (SWA) merupakan polimer dengan karakteristik yang unik, yaitu mampu mengabsorpsi air atau pun cairan lainnya dalam jumlah yang sangat tinggi tanpa larut [1]. Polimer superabsorben berbasis polimer alam banyak dikembangkan saat ini karena bahan bakunya melimpah di alam dan dapat diperbaharui. Selain itu, harga bahan polimer alami juga lebih murah dibandingkan dengan polimer sintetik. Salah satu polimer alami yang banyak dimanfaatkan dalam pembuatan polimer superabsorben adalah pati.

Pati banyak dimanfaatkan sebagai bahan dasar polimer super water absorben (SWA) karena memiliki kemampuan untuk membentuk gel dan memiliki kemampuan untuk swelling [2]. Penelitian sebelumnya telah melakukan sintesis hydrogel dari pati singkong (tapioka) menggunakan teknik iradiasi [3]. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan iradiasi gamma sebagai metode pengikatan silang mampu meningkatkan nilai swelling dan sifat mekanik

SWA secara signifikan. Penggunaan pati singkong memiliki keterbatasan karena merupakan salah satu bahan pangan yang banyak dikonsumsi Masyarakat, sehingga harganya cukup tinggi dan jumlahnya terbatas. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan pembuatan SWA dari onggok singkong.

Onggok merupakan limbah padat agroindustri yang dihasilkan dari industri pengolahan singkong menjadi tapioka. Onggok yang dihasilkan dari proses pengolahan tersebut cukup tinggi, yaitu sekitar 10 hingga 15 % dari bahan baku singkong yang digunakan [4]. Onggok memiliki kandungan karbohidrat dalam jumlah yang sangat tinggi, yaitu sekitar 82% [5]. Hal ini menyebabkan karakteristik onggok hampir sama dengan tapioka. Kelemahan penggunaan polimer alami seperti onggok dalam pembuatan SWA diantaranya polimer alami mudah mengalami retrogasi, rendahnya stabilitas gel yang dihasilkan, serta sifat mekanik yang rendah.

Hal ini menyebabkan perlu dilakukan penambahan monomer sintetik dan metode pengikatan silang guna menghasilkan WSA dengan sifat mendekati sintetik. Asam akrilat dan akrilamida merupakan monomer yang banyak digunakan dalam pembuatan SWA berbasis sintetik karena bersifat reaktif dan mudah mengalami reaksi pengikatan silang [6]. Oleh sebab itu penelitian ini melakukan pembuatan SWA dari onggok singkong yang di kopolimerisasi dengan asam akrilat dan akrilamida. Metode pengikatan silang menggunakan iradiasi gamma dilakukan pada penelitian ini untuk menghasilkan struktur tiga dimensi polimer yang saling bertaut silang. Metode ikat silang menggunakan iradiasi gamma dilakukan karena proses berlangsung dengan cepat, tidak memerlukan penambahan inisiator dan agen pengikat silang yang bersifat toxic, tidak menimbulkan residu pada SWA yang dihasilkan, serta biaya yang relative murah. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh penambahan monomer dan reaksi ikat silang dengan iradiasi gamma terhadap sifat mekanik hidrogel yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang diperlukan pada penelitian ini diantaranya adalah onggok yang diperoleh dari industri rumahan di daerah Ciluar Bogor, asam akrilat, akrilamida, aquades, ethanol 95%, asam klorida (HCL), dan Kalium Hidroksida (KOH). Sifat mekanik SWA pada penelitian ini diperiksa menggunakan perangkat *Texture Analyzer Brookfield*.

Prosedur Penelitian

Preparasi bahan

Onggok singkong disiapkan melalui pencucian yang dilanjutkan dengan pengeringan di bawah sinar matahari selama 2 hari. Selanjutnya onggok dikeringkan pada oven dengan suhu 60 °C selama 12 jam untuk mengeringkan kadar air yang tersisa. Onggok yang telah kering selanjutnya digiling dan disaring menggunakan saringan 100 mesh sehingga dihasilkan serbuk onggok. Serbuk onggok selanjutnya dilarutkan dalam aquades dengan nisbah 1:10 (b/v) dengan cara diaduk dan dipanaskan pada suhu 90 °C hingga membentuk gelatin.

Larutan akrilamida disiapkan dengan melarutkan akrilamida pada aquades dengan nisbah (1:10) b/v. Asam akrilat yang digunakan terlebih dahulu dilakukan penetralan pH dengan pencampuran Asam akrilat dan larutan KOH konsentrasi 10% hingga mencapai pH 4.98.

Pembuatan *Super Water Absorbent* (SWA)

Tahap ini diawali dengan menurunkan suhu larutan onggok tergelatinisasi hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya dilakukan pencampuran larutan akrilamida dengan perbandingan onggok dan

akrilamida 1:1. Suspensi selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit hingga homogen. Suspensi yang telah homogen selanjutnya dicampurkan dengan larutan asam akrilat dengan volume yang divariasikan. Volume larutan akrilamida yang ditambahkan divariasikan berdasarkan rasio onggok, akrilamida, dan asam akrilat berturut – turut 1:1:0.5. Perlakuan kontrol adalah suspensi yang tidak mendapatkan penambahan asam akrilat. Pengadukan selanjutnya dilanjutkan selama 1 jam hingga campuran homogen.

Campuran yang telah homogen selanjutnya dimasukan dalam plastik klip dan direkatkan. Sampel selanjutnya diberikan paparan iradiasi gamma dengan dosis 10 kGy dengan laju 5 kGy/jam. Sampel yang telah terpapar iradiasi selanjutnya akan membentuk gel. Gel yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga massa konstan.

Prosedur Analisis Data

Data yang didapatkan dari pengujian sifat mekanik menggunakan *Texture Analyzer* terdiri dari beban, beban maksimum, kekerasan (*hardness*), regangan (*strain*, ϵ), dan tegangan (*stress*, σ). Modulus elastisitas bahan didapatkan dari kemiringan kurva tegangan terhadap regangan pada pembebanan 20 hingga 80%. Modulus elastisitas yang didapatkan digunakan untuk menghitung densitas ikatan silang menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut.

$$Y = \frac{\sigma}{\epsilon} = 3NkT \quad (1)$$

N merupakan densitas ikatan silang (m^3), k adalah konstanta Boltzmann = $1.38065 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, dan T adalah suhu mutlak pengujian sampel (K).

Kemampuan SWA dalam menyerap air ditunjukkan oleh nilai *equilibrium degree of swelling* (EDS). Nilai EDS ditentukan melalui persamaan (2).

$$EDS = \frac{m_s - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

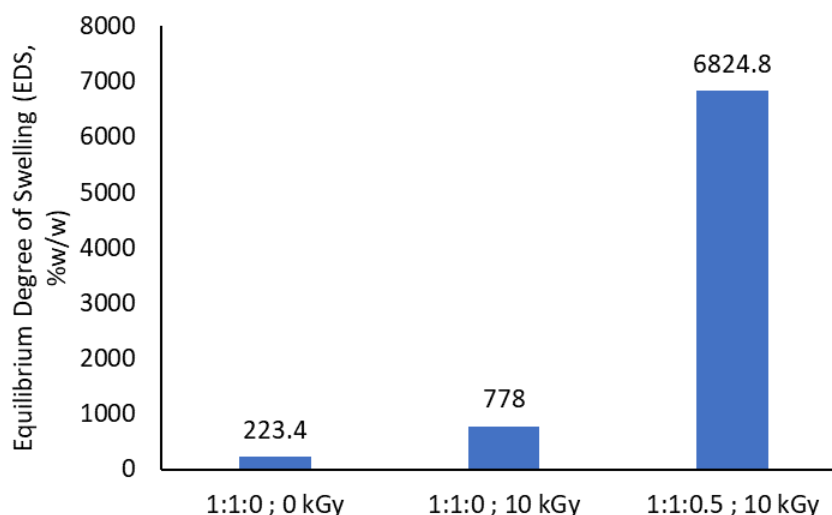
m_s merupakan massa ekuilibrium hidrogel setelah direndam dalam air dan m_0 adalah massa awal hidrogel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter pertama yang diuji dalam analisis sifat mekanik adalah kekerasan (*hardness*). Nilai ini menunjukkan kekuatan sampel SWA dalam menahan beban [7]. Nilai ini diperoleh berdasarkan massa maksimum yang dibebankan kepada benda sebelum benda mengalami deformasi [8]. Hasil pada Tabel 1 menunjukkan nilai *hardness* SWA menurun dari 33.54 mJ menjadi 11.09 mJ ketika dosis iradiasi ditambahkan dari 0 kGy menjadi 10 kGy pada SWA dengan rasio onggok, akrilamida, dan asam akrilat 1:1:0, atau pada sampel yang tidak mendapatkan penambahan asam akrilat. Hasil ini berbanding terbalik dengan nilai EDS pada Gambar 1 yang menunjukkan peningkatan nilai EDS dari 223.4% menjadi 778% ketika dosis iradiasi ditambahkan menjadi 10 kGy. Hal ini disebabkan proses iradiasi gamma menghasilkan struktur tiga dimensi pada rantai polimer SWA, sehingga kemampuan SWA dalam menyerap air ketika diberikan perlakuan iradiasi semakin meningkat [5]. Peningkatan volume air yang berdifusi pada rantai polimer SWA menyebabkan jarak antar ikatan pada SWA semakin merenggang. Hal ini menimbulkan penurunan pada tingkat kekerasan (*hardness*) SWA. Nilai kekerasan SWA berbanding lurus dengan nilai tegangan maksimum (*stress*). Nilai *stress* maksimum menunjukkan besarnya tegangan yang dialami oleh sampel ketika mendapat beban maksimum atau pada saat *hardness* maksimum. Nilai ini menunjukkan besarnya beban yang mampu diterima oleh bahan sebelum pecah atau mengalami deformasi [9]. Nilai *hardness* dan *stress* berbanding terbalik dengan nilai regangan (*strain*).

Tabel 1. Sifat Mekanik SWA Onggok

Rasio Onggok: Akrilamida : Asam Akrilat	Dosis Iradiasi (kGy)	Hardness (mJ)	Tegangan Maksimum (Pa)	Regangan Maksimum	Modulus Elastisitas (Pa)	Densitas Ikatan Silang ($\times 10^{25} \text{ m}^{-3}$)
1:1:0	0	33.54	205345.99	0.47	961541	7.738
1:1:0	10	11.09	84444.96	0.64	283180	2.279
1:1:0.5	10	36.13	118733.79	0.57	306453	2.466



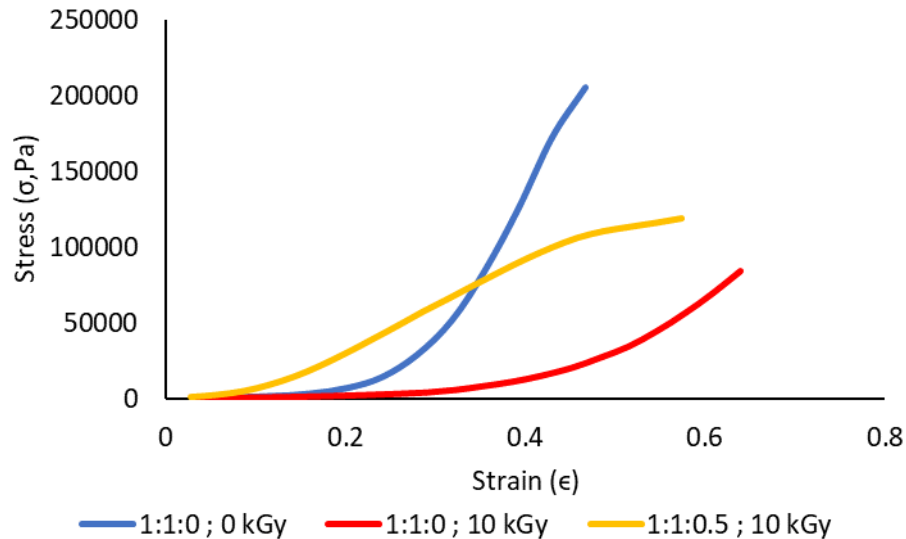
Gambar 1. Equilibrium Degree of Swelling SWA

Nilai regangan menunjukkan tingkat elastisitas bahan untuk meregang sebelum mengalami deformasi ketika diberikan beban [10]. Nilai ini didapatkan berdasarkan rasio perubahan ketinggian sampel ketika menerima beban maksimum terhadap ketinggian awal sampel. Nilai ini berbanding lurus dengan nilai EDS. Regangan yang semakin tinggi menunjukkan sampel bersifat semakin elastis dan semakin mampu untuk memanjang menghasilkan rongga yang semakin besar untuk menampung air. Hal ini didukung oleh data yang disajikan pada Tabel 1 yang menunjukkan nilai regangan meningkat dari 0.4677 menjadi 0.6401 ketika dosis iradiasi sebesar 10 kGy diberikan pada SWA yang tidak diberikan penambahan asam akrilat.

Hasil pada Gambar 1 juga menunjukkan nilai EDS dan sifat mekanik SWA yang mendapatkan penambahan asam akrilat dengan rasio ongkok:akrilamida:asam akrilat bernilai 1:1:0.5. Hasil pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada perlakuan dosis iradiasi gamma sebesar 10 kGy, SWA yang mendapatkan penambahan asam akrilat memiliki nilai EDS yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel SWA 10 kGy yang tidak mendapatkan penambahan asam akrilat. Peningkatan EDS yang terjadi sangat signifikan, yaitu dari 778% menjadi 6824.8%. Hal ini disebabkan asam akrilat yang telah dinetralkan akan mengalami ionisasi menghasilkan anion karboksilat yang bersifat hidrofilik dan mampu mengikat air [11]. SWA yang berinteraksi dengan air akan menyebabkan interaksi antara anion – anion pada SWA dengan molekul air yang menghasilkan gaya tolak – menolak antar rantai polimer SWA, sehingga rantai polimer mengalami ekspansi dan SWA mengalami pembengkakan (*swelling*) [12].

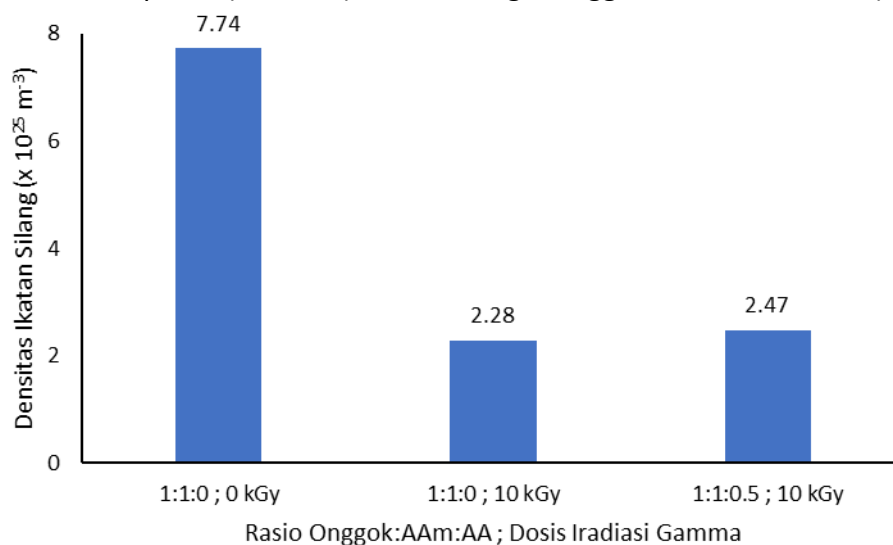
Hasil pada Tabel 1 juga menunjukkan sifat mekanik SWA yang mendapatkan penambahan asam akrilat. Berdasarkan hasil pada Tabel 1, penambahan asam akrilat dengan rasio Onggok : Akrilamida : Asam Akrilat 1:1:0.5 meningkatkan kekerasan (*hardness*) SWA dari 11.09 mJ menjadi 36.14 mJ. Asam akrilat memiliki ikatan rangkap asam tak jenuh dan asam karboksilat atau ester alifatik yang bersifat reaktif terhadap reaksi pengikatan silang [13]. Ikatan yang bersifat reaktif pada asam akrilat menyebabkan asam akrilat mudah mengalami reaksi untuk membentuk

struktur pertautan silang. Pertautan silang yang dihasilkan ini menyebabkan SWA yang mendapatkan penambahan asam akrilat memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan SWA yang tidak mendapatkan penambahan asam akrilat. Parameter utama dalam sifat mekanik SWA adalah kekerasan (*hardness*). Semakin tinggi nilai *hardness* SWA, sifat mekanik SWA semakin baik.



Gambar 2. Kurva hubungan tegangan terhadap regangan SWA onggok

Modulus elastisitas SWA ditentukan berdasarkan kemiringan kurva tegangan terhadap regangan yang disajikan pada Gambar 2. Nilai modulus elastisitas SWA pada berbagai perlakuan dirangkum pada Tabel 1. Hasil pada Tabel 1 menunjukkan pada SWA dengan rasio 1:1:0, modulus elastisitas SWA mengalami penurunan dari 961541 Pa menjadi 283180 Pa. Hasil ini berbanding lurus dengan nilai kekerasan (*hardness*) dan tegangan. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh pada sampel SWA yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh Kakkar dan Madhan yang memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 4530 Pa [14]. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh pada penelitian ini digunakan untuk menentukan kerapatan (densitas) ikatan silang menggunakan Persamaan (1) [5].



Gambar 3. Densitas ikatan silang SWA Onggok

Nilai densitas ikatan silang untuk SWA yang dihasilkan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3. Nilai densitas ikatan silang menunjukkan kerapatan ikatan silang pada rantai polimer

SWA setelah direndam dalam air. Hasil pada Gambar 3 menunjukkan SWA onggok yang tidak mendapatkan penambahan asam akrilat mengalami penurunan nilai densitas ikatan silang dari $7.74 \times 10^{25} / \text{m}^3$ menjadi $2.28 \times 10^{25} / \text{m}^3$ ketika diberikan iradiasi gamma sebesar 10 kGy. Iradiasi gamma yang dipaparkan pada sampel SWA menyebabkan terbentuknya ion – ion radikal yang bersifat tidak stabil. Ion – ion radikal yang tidak stabil ini memicu terbentuknya ikatan antar rantai polimer untuk mencapai kestabilan [3]. Ikatan antar rantai polimer menyusun rantai polimer tiga dimensi yang saling bertaut silang. Struktur pertautan silang tiga dimensi ini menjadi tempat untuk memerangkap molekul air sehingga dapat tersimpan dalam struktur SWA. EDS yang semakin tinggi menunjukkan jumlah air yang terperangkap dalam struktur polimer semakin banyak. Hal ini menyebabkan ikatan antar rantai tiga dimensi merenggang, sehingga kerapatannya mengalami penurunan.

Reaksi pengikatan silang menggunakan iradiasi gamma melibatkan efek langsung dan efek tidak langsung. Pada efek langsung, larutan campuran onggok, akrilamida, dan asam akrilat diberikan paparan iradiasi gamma sehingga menghasilkan polimer dan monomer radikal yang kemudian mengalami rekombinasi untuk membentuk polimer baru yang berikatan silang. Sementara itu, efek tidak langsung terjadi ketika melibatkan proses radiolisis air. energi tinggi yang dilepaskan oleh iradiasi gamma menyebabkan disosiasi molekul air menjadi hidrogen dan hidroksil radikal. Selanjutnya, ion hidrogen (H^+) dan hidroksil (OH^-) radikal menginisiasi polimer hingga membentuk polimer radikal dan kemudian saling membentuk ikatan [15].

KESIMPULAN

Metode pengikatan silang menggunakan iradiasi gamma dan penambahan monomer asam akrilat berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *equilibrium degree of swelling* (EDS) dan sifat mekanik polimer *super water absorbent*. Nilai EDS SWA meningkat dengan penambahan asam akrilat dan pemberian metode pengikatan silang menggunakan iradiasi gamma. Kekerasan dan tegangan maksimum SWA yang tidak menerima penambahan SWA mengalami penurunan dengan pemberian iradiasi gamma dengan dosis 10 kGy. Namun penambahan asam akrilat pada metode ikatan silang menggunakan iradiasi gamma mampu meningkatkan EDS dan sifat mekanik SWA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. R. Gallardo, A. P. Silos, L. S. Relleve and L. V. Abad, "Retrogradation in radiation-synthesized cassava starch/acrylic acid super water absorbent and its effect on gel stability," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 199, p. 110313, 2022.
- [2] A. A. Danimayotsu, N. M. Shofiana and D. Permatasari, "Pengaruh penggunaan pati kentang (*Solanum tuberosum*) termodifikasi asetilasi-oksidasi sebagai gelling agent terhadap stabilitas gel natrium diklofenak," *Pharmaceutical Journal of Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 25-32, 2017.
- [3] I. Puspita, C. Winarti and M. Kurniati, "Synthesis of cassava starch based nano - hydrogels using gamma irradiation," *IOP Conf Series: Earth and Environmental Science*, vol. 299, pp. 1-10, 2019.

- [4] K. Sriroth, R. Chollakup, S. Chotineerant, K. Piyachomkwan and C. G. Oates, "Processing of cassava waste to improved biomass utilization," *Bioresour Technol*, vol. 71, pp. 63-69, 2000.
- [5] I. Puspita, M. Kurniati, C. Winarti and A. Maddu, "Cassava waste pulp – poly(acrylamide-acrylic acid) based hydrogels using gamma irradiation," *J Phys Conf Ser*, vol. 1912, p. 012017, 2021.
- [6] D. Feng, B. Bai, C. Ding, H. Wang and Y. Suo, "Synthesis and Swelling Behaviors of Yeast- g -Poly(acrylic acid) Superabsorbent Co-polymer," *Ind Eng Chem Res*, vol. 53, p. 12760–9, 2014.
- [7] I. Puspita and M. Kurniati, "Sifat Mekanik dan Densitas Ikatan Silang Hidrogel Berbasis Tapioka Nanopartikel," *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 32-42, 2022.
- [8] C. Yuan, L. Du, G. Zhang, Z. Jin and H. Liu, "Influence of cyclodextrins on texture behavior and freeze – thaw stability of kappa – carrageenan gel," *Food Chemistry*, vol. 210, pp. 600-605, 2016.
- [9] J. Hurler, A. Engesland, B. Kermay and N. Basnet, "Improved texture analysis for hydrogel characterization: Gel cohesiveness, adhesiveness, and hardness," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 125, pp. 180-188, 2012.
- [10] X. Gong, Y. Xi, S. Xuan, C. Guo and L. Zong, "The investigation on the nonlinearity of plasticine – like magnetorheological material under oscillatory shear rheometry," *Journal of Rheology*, vol. 56, no. 6, pp. 1372-1380, 2012.
- [11] Erizal, "Sintesis hidrogel superabsorben poli(akrilamida-ko-kalium akrilat) dengan teknik radiasi dan karakterisasinya," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 6, no. 2, pp. 105-116, 2010.
- [12] Erizal, M. Lana, R. A. K. Setyo and B. Abbas, "Sintesis dan karakterisasi hidrogel superabsorben berbasis asam akrilat hasil iradiasi gamma," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 11, no. 1, pp. 27-38, 2015.
- [13] T. Fekete, J. Borsa, E. Takacs and L. Wojnarovits, "Synthesis and characterization of superabsorbent hydrogels based on hydroxyethylcellulose and acrylic acid," *Carbohydrates Polymers*, vol. 166, pp. 300-308, 2017.
- [14] P. Kakkar and B. Madhan, "Fabrication of keratin - silica hydrogel for biomedical applications," *Materials Science and Engineering*, vol. 66, pp. 178-184, 2016.
- [15] E. Jabbari and S. Nozari, "Swelling behavior of acrylic acid hydrogels prepared by gamma radiation crosslinking of polyacrylic acid in aqueous solution," *European Polymer Journal*, vol. 36, pp. 2685-2692, 2000.