

TESIS

**PENGARUH PENAMBAHAN CNT TERHADAP KINERJA HIDROGEL
[PVA/BORAT] PADA PEMBUATAN MATERIAL AGROKIMIA GRANULA
[PVA/BORAT/CNT/CaCO₃-KCl]**

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

Program Magister Kimia



Disusun Oleh

Vizny Grace Irene Damanik

2208729

**PROGRAM MAGISTER KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

**PENGARUH PENAMBAHAN CNT TERHADAP KINERJA HIDROGEL
[PVA/BORAT] PADA PEMBUATAN MATERIAL AGROKIMIA GRANULA
[PVA/BORAT/CNT/CaCO₃-KCl]**

Oleh:

Vizny Grace Irene Damanik

2208729

Tesis ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister
Sains pada Program Studi Kimia Departemen Pendidikan Kimia Fakultas
Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Vizny Grace Irene Damanik 2024

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2024

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Tesis ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau Sebagian, dengan dicetak ulang, di
fotocopy, atau cara lainnya tanpa izin penulis

HALAMAN PENGESAHAN

VIZNY GRACE IRENE DAMANIK

**PENGARUH PENAMBAHAN CNT TERHADAP KINERJA HIDROGEL
[PVA/BORAT] PADA PEMBUATAN MATERIAL AGROKIMIA GRANULA
[PVA/BORAT/CNT/CaCO₃-KCl]**

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I,



Dr. Hendrawan, M.Si.
NIP. 19630911198901100

Pembimbing II,



Prof. Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si, Ph.D.
NIP. 19780628220011222001

Mengetahui:

Ketua Program Magister Kimia



Prof. Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si, Ph.D.
NIP. 19780628220011222001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul **“Pengaruh Penambahan CNT Terhadap Kinerja Hidrogel [PVA/Borat] Pada Pembuatan Material Agrokimia Granula [PVA/Borat/CNT/CaCO₃-KCl]”** ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2024

Yang membuat persetujuan



Vizny Grace Irene Damanik

NIM. 2208729

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera,

Puji dan Syukur penulis haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa oleh karena anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan, dan kasih setia yang besar sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini guna memenuhi salah satu persyaratan dalam mencapai Gelar Magister Sains di Prodi Magister Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Tidak lupa dengan mengucapkan terimakasih Tuhan, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pengaruh Penambahan CNT Terhadap Kinerja Hidrogel [PVA/Borat] Pada Pembuatan Material Agrokimia Granula [PVA/Borat/CNT/CaCO₃-KCl]”**. Penulis berharap tesis ini dapat meningkatkan wawasan dan kontribusi bagi penulis sendiri, pembaca, dan peneliti selanjutnya dalam bidang kimia. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan pada tesis ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak selalu diharapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan.

Bandung, Agustus 2024

Penulis,



Vizny Grace Irene Damanik

NIM. 2208729

UCAPAN TERIMAKASIH

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan tesis ini akan sulit terlaksana tanpa adanya bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak terkait, mulai pelaksanaan penelitian hingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Jonni Rinson Damanik dan Ibu Elpida Masriana Saragih selaku orang tua penulis yang senantiasa mendukung penulis disetiap keadaan.
2. Bapak Dr. Hendrawan, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan kesempatan, bimbingan, motivasi, ilmu, nasehat, dukungan, kritik dan saran yang membangun selama penelitian hingga penyusunan tesis dengan penuh kesabaran.
3. Ibu Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang turut membimbing, memberi nasehat, motivasi, serta kritik dan saran yang membangun penulis dalam menyelesaikan tesis.
4. Bapak Hafiz Aji Aziz, M.Sc dan Agnia Muftiasih, S.Si. selaku dosen dan staff yang turut membantu, memberikan dukungan, bimbingan, ilmu, serta masukan yang sangat membangun dalam pengolahan data penelitian.
5. Vizny Debora Novelia Damanik sebagai adik kandung penulis yang selalu mendukung dalam proses penelitian.
6. Prayoga Dimas Putra sebagai teman dekat dalam suka dan duka yang selalu memotivasi, menemani, memberi saran dalam menyelesaikan proses penulisan tesis.
7. Regina Pasaribu sebagai sahabat yang selalu mendukung hal-hal baik dalam proses penelitian tesis.
8. Syifa, Fayyadh, Yogi Tri, Maura, Nadia sebagai teman yang selalu memotivasi dalam menyelesaikan tesis.

9. Hari Agung Triadi, Silvia Widiyanti, Ni Putu Yunika, Zakiyah, Kezia serta teman-teman Program Magister Kimia lainnya yang telah banyak membantu dukungan dan bantuan terkait dengan penelitian yang penulis lakukan.
10. Anggriani Puspita Saragih, Dame Banjarnahor, Friska Damanik selaku kakak yang selalu memotivasi dengan segala kerandoman dan memberi saran kepada penulis.
11. Bou Vina, Kak Riska, Kak Siska, Om Irvan, Om Sam sebagai keluarga travelling dan memberi motivasi dalam menyelesaikan penulisan tesis.
12. Augita, Thasia, Fuji, Bilqis, Helmi selaku teman satu pembimbing yang selalu saling menyemangati dalam penelitian hingga akhir.
13. Cugoy, Teh Yuyun, Reza, Ragil, Lutfi, Yudis sebagai barudak-barudak bandung well dengan segala keparty-an yang ada.
14. Abesaurus selaku konten kreator yang selalu menghibur keseharian penulis.
15. Tim Riset Kimia Material Lingkungan 2022-2024 yang telah membuat penelitian menjadi proaktif, kolaboratif, dan menyenangkan.
16. Serta semua pihak yang telah banyak membantu memberikan dukungan dan bantuan terkait dengan penelitian yang penulis lakukan.

Semoga semua amal baik yang telah banyak diberikan mendapatkan balasan yang lebih baik dari Tuhan, Amin.

Abstrak

Pertanian memainkan peran krusial dalam penyediaan pangan bagi populasi global yang terus berkembang, namun menghadapi tantangan besar untuk meningkatkan produktivitas dengan dampak lingkungan minimal. Penelitian ini memfokuskan pada hidrogel berbasis [PVA/Borat] yang dimodifikasi dengan *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) dalam pengembangan *Slow release Fertilizer* (SRF) granula [PVA/Borat/CNT/CaCO₃-KCl]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal hidrogel, menganalisis karakteristik hidrogel, mengevaluasi kinerja agrokimia dari hidrogel, dan mengukur efektivitas *slow release* dari granula. Pembuatan hidrogel menggunakan PVA 3%, Borat 1%, dan MWCNT 0,01%. Metode yang digunakan adalah *coating* dengan masing-masing persentase MWCNT 0%(H0), 0,001%(H1), 0,005%(H2), 0,01%(H3). Karakteristik hidrogel meliputi gugus fungsi (vibrasi), morfologi permukaan, ukuran kristal, dan hidrofilitas, yang masing-masing diperoleh melalui pengukuran FT-IR, SEM, XRD, dan uji *WCA* (*water contact angle*). Parameter performa agrokimia yang meliputi *swelling ratio* (*SR*), *water retention* (*WR*), *release behavior* (*RB*), dan biodegradabilitas. Material yang disintesis pada penelitian ini adalah hidrogel lembaran Polivinil alkohol [PVA/Borat/CNT] dan granula CaCO₃-KCl dengan pelapis gel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT], dan tanpa pelapis gel. Spektra FTIR menunjukkan bahwa pada serapan 3300 cm⁻¹ menjadi lebih lebar serta penurunan intensitas serapan pada daerah 2521-2533 cm⁻¹ mengindikasikan adanya vibrasi dari gugus alkuna karbonil Sp². Interaksi komponen hidrogel [PVA/Borat/CNT] melibatkan gugus fungsi seperti C-O, C-C, C=O, C-H sp³, C-H sp², B-O serta O-H yang terjadi melalui ikatan hidrogen. Hasil instrumentasi SEM menunjukkan pada H-1 tidak teramati adanya pori yang terkoneksi satu sama lain serta ukuran pori yang mengecil. Pada H-2 dan H-3 macrovoid yang terbentuk memiliki struktur yang terkoneksi satu sama lain yang dapat meningkatkan kestabilan mekanik dan kompatibilitas hidrogel PVA. Sifat hidrofilitas hidrogel menurun seiring penambahan MWCNT ditandai dengan meningkatnya sudut kontak dari 36,23° hingga 59,15°. Selain itu, hidrogel yang dimodifikasi dengan MWCNT menunjukkan peningkatan kinerja dalam hal pengendalian pelepasan nutrisi dibandingkan dengan hidrogel tanpa MWCNT dimana kemampuan *WR* hidrogel meningkat sebanyak 78%, *SR* untuk H-3 menjadi yang paling tinggi di detik 3500 dengan nilai *swelling ratio* 733%, biodegradabilitas [PVA/Borat] lebih mudah terdegradasi (91%) oleh lumpur aktif dibandingkan dengan hidrogel lainnya. Dimana untuk H-1 terdegradasi 89%; H-2 terdegradasi 83% dan H-3 terdegradasi 78%. Penambahan MWCNT 0,01% kedalam hidrogel dapat meningkatkan kemampuan *slow release* CaCO₃-KCl. Dengan performa tersebut, hidrogel berbasis [PVA/Borat/CNT] memberikan peluang untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material pengembangan SRF.

Kata kunci: Hidrogel, PVA, Borat, *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT), *Slow release Fertilizer* (SRF).

Abstract

Agriculture plays a crucial role in providing food for a growing global population, but faces a major challenge to increase productivity with minimal environmental impact. This study focuses on [PVA/Borate] based hydrogel modified with Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT) in the development of Slow Release Fertilizer granules [PVA/Borate/CNT/CaCO₃-KCl]. This study aims to determine the optimal composition of the hydrogel, analyze the characteristics of the hydrogel, evaluate the agrochemical performance of the hydrogel, and measure the slow release fertilizer (SRF) effectiveness of the granules. The manufacture of hydrogels uses PVA 3%, Borate 1%, and MWCNT 0.01%. The method used is coating with a percentage of MWCNT 0%(H0), 0.001%(H1), 0.005%(H2), 0.01%(H3). Hydrogel characteristics include functional groups (vibration), surface morphology, crystal size, and hydrophilicity, which are obtained through FT-IR, SEM, XRD, and WCA (water contact angle) measurements, respectively. Agrochemical performance parameters include swelling ratio (SR), water retention (WR), release behavior (RB), and biodegradability. The materials synthesized in this study were polyvinyl alcohol sheet hydrogel [PVA/Borate/CNT] and CaCO₃-KCl granules with gel coatings [PVA/Borate] and [PVA/Borate/CNT], and without gel coatings. The FTIR spectrum shows that at 3300 cm⁻¹ absorption becomes wider and the decrease in absorption intensity in the region 2521-2533 cm⁻¹ indicates the presence of vibration from the carbonyl alkyne group Sp². The interaction of hydrogel components [PVA/Borate/CNT] involves functional groups such as C-O, C-C, C=O, C-H sp³, C-H sp², B-O and O-H which occur through hydrogen bonds. The results of SEM instrumentation showed that on H-1 there were no pores connected to each other and the pore size was reduced. In H-2 and H-3, the macrovoids formed have structures that are connected to each other which can improve the mechanical stability and compatibility of PVA hydrogels. The hydrophilicity properties of the hydrogel decreased with the addition of MWCNT characterized by an increase in the contact angle from 36.23° to 59.15°. In addition, hydrogels modified with MWCNT showed improved performance in terms of controlling nutrient release compared to hydrogels without MWCNT where the WR ability of the hydrogel increased by 78%, SR for H-3 was the highest at 3500 seconds with a swelling ratio value of 733%, biodegradability [PVA/Borat] was more easily degraded (91%) by activated sludge compared to other hydrogels. Where for H-1 it is degraded by 89%; H-2 is degraded 83% and H-3 is degraded 78%. The addition of 0.01% MWCNT to the hydrogel can increase the slow release ability of CaCO₃-KCl. With this performance, [PVA/Borat/CNT] based hydrogels provide opportunities to be further developed as SRF development materials.

Keywords: Hydrogel, PVA, Borate, Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT), Slow release Fertilizer (SRF).

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Masalah.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
2.1 PUPUK.....	10
2.2 <i>SLOW RELEASE FERTILIZER</i> (SRF).....	12
2.3 HIDROGEL.....	14
2.4 POLYVINIL ALKOHOL (PVA).....	16
2.5 BORAT.....	18
2.6 [PVA/BORAT].....	19
2.7 CARBON NANO TUBE (CNT).....	21
2.8 GRANULASI	23
2.9 Kalium Klorida (KCl).....	25
2.9 Kalsit (CaCO ₃).....	26
2.10 KARAKTERISASI HIDROGEL	27
2.10.1 Fourier Transform InfraRed Spectroscopy (FT-IR)	27

2.10.2 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	28
2.10.3 Hidrofilisitas (<i>Water Contact Angle</i>).....	29
2.10.4 Degradabilitas	29
2.10.5 Swelling Behavior.....	30
2.10.6 <i>Water retention</i>	31
2.10.7 <i>Release behavior</i>	32
2.11 PENELITIAN TERDAHULU.....	32
2.12 KERANGKA BERPIKIR.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	36
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	36
3.2 Rencana Penelitian	36
3.3 Alat dan Bahan	38
3.4 Tahap Penelitian	39
3.5 Prosedur Kerja Penelitian	40
3.5.1 Preparasi Granula KCl	41
3.5.1.1 Sintesis Lembaran Hidrogel [PVA/Borat/CNT-KCl].....	43
3.5.1.2 Sintesis Granula Hidrogel [PVA/Borat/CNT/CaCO ₃ -KCl].....	43
3.5.2 Sintesis Hidrogel [PVA/Borat/CNT]	43
3.5.2.1 Preprasi PVA 3%.....	43
3.5.2.2 Pembuatan larutan Borat 1%	43
3.5.2.3 Fungsionalisasi MWCNT	44
3.5.2.4 Optimasi Komposisi [PVA/Borat/CNT].....	44
3.6.1 Karakterisasi Hidrogel	44
3.6.1.1 Interaksi Kimia	44
3.6.1.2 Morfologi permukaan	45
3.6.1.3 Hidrofilisitas	45
3.7.1 Uji Performa Hidrogel	45
3.7.1.1 <i>Swelling ratio</i>	45
3.7.1.2 <i>Water retention</i>	46
3.7.1.3 Degrabilitas	46

3.7.1.4 <i>Release Behaviour</i>	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Komposisi Kebutuhan Hidrogel	48
4.1.1. Penyiapan Lembaran Gel [PVA/Borat], Karakterisasi, Uji Performa, Optimasi KCl	48
4.1.2. Penyiapan Lembaran Gel [PVA/Borat/CNT], Karakterisasi, Uji Performa, Optimasi KCl.....	49
4.1.3. Pembuatan dan Pengujian Granula CaCO ₃ -KCl Terlapis [PVA/Borat/CNT].....	50
4.2. Karakteristik	50
4.2.1. Interaksi Kimia (FTIR)	51
4.2.2. Morfologi SEM.....	53
4.2.3. Hidrofilisitas.....	55
4.3. Uji Kinerja.....	56
4.3.1. <i>Water retention</i>	56
4.3.2. <i>Swelling ratio</i>	57
4.3.3. <i>Release behavior</i>	59
4.3.4. Biodegradasi.....	63
BAB V SIMPULAN DAN IMPLIKASI	66
5.1. Kesimpulan.....	66
5.2. Implikasi.....	67
REFERENSI	68
LAMPIRAN.....	72
RIWAYAT HIDUP.....	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. 'Model release/pelepasan unsur hara ditanah': pelepasan unsur hara disinkronkan dengan kebutuhan unsur hara tanaman menurut Lammel	11
Gambar 2.2. Konsep pemupukan peningkatan efisiensi: pemberian pupuk dalam beberapa balutan pupuk misalnya unsur N menurut Lammel.....	12
Gambar 2.3. Skema ilustrasi sintesis hidrogel	15
Gambar 2.4. Struktur Vinil Alkohol.....	17
Gambar 2.5. Proses Sintesis PVA	17
Gambar 2.6. Struktur dari: (a) Asam Borat dan (b) Boraks	19
Gambar 2.7. Mekanisme reaksi [PVA/Borat] menjadi kompleks monodiol dan didiol	21
Gambar 2.8. SWCNT dan MWCNT	22
Gambar 2.9. Ilustrasi Mekanisme pelepasan nutrisi bertahap.....	24
Gambar 2.10. Struktur Kalsit.....	26
Gambar 2.11. Skema alat spektroskopi FT-IR	28
Gambar 2.12. Sudut kontak air (WCA) dari berbagai jenis permukaan.....	29
Gambar 2.13. Swelling behavior	31
Gambar 2.14. Kerangka berpikir penelitian	35
Gambar 3.1. Bagan Alir Tahapan Penelitian.....	39
Gambar 3.2. Diagram Alir Prosedur Kerja Penelitian.....	40
Gambar 3.3. Bagan Alir Optimasi Kuantitas KCl Dalam Gel	41
Gambar 3.4. Bagan Alir Pembuatan dan Pengujian Granula CaCO ₃ -KCl Terlapisi [PVA/Borat/CNT].....	42
Gambar 4.1. Spektra FTIR hidrogel berbasis [PVA/Borat] dengan variasi MWCNT	51
Gambar 4.2. Morfologi hidrogel berbasis [PVA/Borat] dengan variasi MWCNT pada penampang cross section dan permukaan (A-E) H-0, (B-F) H-1, (C-G) H-2, (D-H) H-3 yang diukur pada perbesaran 10000x dan 20000x	53

Gambar 4.3. Nilai WCA hidrogel [PVA/Borat] sebelum dan setelah penyisipan MWCNT	56
Gambar 4.4. <i>Water retention</i> hidrogel [PVA/Borat] sebelum dan setelah penyisipan MWCNT	57
Gambar 4.5. <i>Swelling ratio</i> hidrogel [PVA/Borat] sebelum dan setelah penyisipan MWCNT	59
Gambar 4. 6. Uji <i>release</i> KCl pada hidrogel [PVA/Borat]	60
Gambar 4.7. Grafik <i>Release behavior</i> hidrogel [PVA/Borat-KCl] dan variasi [PVA/Borat/CNT-KCl].....	61
Gambar 4. 8. Uji <i>release</i> granula: (a) [PVA/Borat/CaCO ₃ -KCl]; (b) [PVA/Borat/CNT/CaCO ₃ -KCl].....	62
Gambar 4.9. Grafik uji <i>release</i> CaCO ₃ -KCl pada hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT] pada berbagai konsentrasi CaCO ₃ -KCl	63
Gambar 4. 10. Hasil biodegradasi hidrogel oleh lumpur aktif selama 45 hari	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2. Sifat mekanik dari Nanotubes	22
Tabel 3.1. Plot rencana penelitian	36
Tabel 3.2. Optimasi Komposisi [PVA/Borat/CNT]	44
Tabel 4.1. Fenomena lembaran hidrogel dengan variasi massa KCl	48
Tabel 4.2. Range optimasi massa KCl	49
Tabel 4.3. Massa KCl dan CaCO ₃ dengan variasi konsentrasi K ₂ O : CaCO ₃	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Perhitungan	73
lampiran 2. Hasil Pengukuran Water Contact Angle (WCA)	78
Lampiran 3. Hasil Pengukuran Data Water Retention	79
Lampiran 4. Hasil Pengukuran Data Swelling Ratio	80
Lampiran 5. Hasil Pengukuran Data Release behavior	81
Lampiran 6. Hasil Pengukuran Data Biodegradabilitas	117
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	118

REFERENSI

- Artzi, N., Oliva, N., Puron, C., Shitreet, S., Artzi, S., Ramos, A.B., Groothuis, A., Sahagian, G., Edelman, E.R., 2011. *In vivo and in vitro tracking of erosion in biodegradable materials using non-invasive fluorescence imaging*. *Nat. Mater.* 10, 704e709.
- Bialkowska, A., Borycka, B., Bakar, M., & Rzany, A. (2022). Innovative NPK fertilizers based on polyacrylamide and polyvinyl alcohol with controlled *release* of nutrients. *Polish Journal of Chemical Technology*, 24(3).
- Burkersroda, F., Schedl, L., Gopferich, A., 2002. *Why degradable polymers undergo surface erosion or bulk erosion*. *Biomaterials* 23, 4221e4231
- Chandel, M., Kaur, K., Sahu, B. K., Sharma, S., Panneerselvam, R., & Shanmugam, V. (2022). Promise of nano-carbon to the next generation sustainable agriculture. *Carbon*, 188, 461-481.
- Chen, S., Yang, M., Ba, C., Yu, S., Jiang, Y., Zou, H., & Zhang, Y. (2018). Preparation and characterization of slow-*release* fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers. *Science of the total environment*, 615, 431-437.
- Cheng, A. T. Y., & Rodriguez, F. (1981). Mechanical properties of borate crosslinked poly (vinyl alcohol) gels. *Journal of Applied Polymer Science*, 26(11), 3895-3908.
- El-Husseiny, H. M., Mady, E. A., Hamabe, L., Abugomaa, A., Shimada, K., Yoshida, T., Tanaka, T., Yokoi, A., Elbadawy, M., & Tanaka, R. (2022). Smart/stimuli-responsive hidrogels: Cutting-edge platforms for tissue engineering and other biomedical applications. *Materials Today Bio*, 13, 100186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100186>
- Firmanda, A., Fahma, F., Syamsu, K., Sari, Y. W., Suryanegara, L., Wood, K., & Saito, Y. (2023). Factors influencing the biodegradability of agro-biopolymer based slow or controlled *release* fertilizer. *Journal of Polymers and the*

Environment, 31(5), 1706-1724.

- GhaedRahmati, H., Frounchi, M., & Dadbin, S. (2022). Piezoelectric behavior of Gamma-radiated nanocomposite hidrogel based on PVP-PEG-BaTiO₃. *Materials Science and Engineering: B*, 276, 115535. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115535>
- Hendrawan, H., Aziz, H. A., Haryati, N., & Khoerunnisa, F. (2023). Poly (vinyl alcohol)/Premna Oblongifolia Merr. Extract/Glutaraldehyde/Carbon Nanotube (VOGC)-Based Composite Hidrogel: A Potential Candidate for Controlled-Release Materials. *ChemistryOpen*, 12(2), e202200239.
- Hendrawan, H., Khoerunnisa, F., Ekawati, F. I., & Sonjaya, Y. (2019). PREPARATION AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF GRACILARIA/PVA/GA/CNT-BASED HIDROGEL FOR SLOW/CONTROLLED RELEASE MATERIAL. *Materials Physics & Mechanics*, 42(1).
- Huang, K., & Wang, Y. (2022). Recent applications of regenerated cellulose films and hidrogels in food packaging. *Current Opinion in Food Science*, 43, 7–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.09.003>
- Jarosiewicz, A., and Tomaszewska, M. (2003). Controlled-Release NPK Fertilizer Encapsulated by Polymeric Hidrogeles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51, 413-417.
- Kalaithong, W., Molloy, R., Nalampang, K., & Somsunan, R. (2021). Design and optimization of polymerization parameters of carboxymethyl chitosan and sodium 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonate hidrogels as wound dressing materials. *European Polymer Journal*, 143(January), 110186. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.110186>
- Kamoun, E. A., Loutfy, S. A., Hussein, Y., & Kenawy, E.-R. S. (2021). Recent advances in PVA-polysaccharide based hidrogels and electrospun nanofibers in biomedical applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 755–768.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.002>

- Kareem, S. A., Dere, I., Gungula, D. T., Andrew, F. P., Saddiq, A. M., Adebayo, E. F., ... & Patrick, D. O. (2021). Synthesis and characterization of slow-release fertilizer hidrogel based on hydroxy propyl methyl cellulose, polyvinyl alcohol, glycerol and blended paper. *Gels*, 7(4), 262.
- Khan, A., & Alamry, K. A. (2022). Surface Modified Carbon Nanotubes: An Introduction. In *Surface Modified Carbon Nanotubes Volume 1: Fundamentals, Synthesis and Recent Trends* (pp. 1-25). American Chemical Society.
- Kim, Y. S., Lee, C. E., & Lee, G. J. (2021). Nitrogen Efficiency and Shoot Growth of Creeping Bentgrass after Application of *Slow release* Nitrogen Fertilizer. *Weed&Turfgrass Science*, 10(2), 155-162.
- Lee, F., Chung, J.E., Xu, K.M., Kurisawa, M., 2015. Injectable degradation-resistant hyaluronic acid hidrogels cross-linked via the oxidative coupling of green tea catechin. *ACS Macro Lett.* 4, 957e960.
- Mustafa, P., Niazi, M. B., Jahan, Z., Samin, G., Hussain, A., Ahmed, T., & Naqvi, S. R. (2020). PVA/starch/propolis/anthocyanins rosemary extract composite films as active and intelligent food packaging materials. *Journal of Food Safety*, 40(1), e12725.
- Riedo, C., Caldera, F., Poli, T., & Chiantore, O. (2015). Poly (vinylalcohol)-borate hidrogels with improved features for the cleaning of cultural heritage surfaces. *Heritage Science*, 3, 1-11.
- Safdar, M., Kim, W., Park, S., Gwon, Y., Kim, Y. O., & Kim, J. (2022). Engineering plants with carbon nanotubes: a sustainable agriculture approach. *Journal of nanobiotechnology*, 20(1), 275. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01483-w>
- Syukur, S., Sulakhudin, A., & Sunarminto, B. H. (2021). PENGARUH PUPUK NPK BERLAPIS ZEO-HUKALSI TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL BAWANG MERAH DI TANAH PASIR PANTAI BUGEL KULON PROGO. *Agrin*, 15(1).

- Wang, X., Song, R., Johnson, M., A, S., He, Z., Milne, C., Wang, X., Lara-Sáez, I., Xu, Q., & Wang, W. (2021). An Injectable Chitosan-Based Self-Healable Hidrogel System as an Antibacterial Wound Dressing. In *Materials* (Vol. 14, Issue 20). <https://doi.org/10.3390/ma14205956>
- Yenni, A. (2012). *PEMBUATAN SLOW RELEASE FERTILIZER DENGAN MENGGUNAKAN POLIMER AMILUM DAN ASAM POLYACRYLIC SERTA POLIVINIL ALKOHOL SEBAGAI PELAPIS DENGAN MENGGUNAKAN METODA FLUIDIZED BED* (Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro).
- Yu, F., Yang, P., Yang, Z., Zhang, X., & Ma, J. (2021a). Double-network hidrogel adsorbents for environmental applications. *Chemical Engineering Journal*, 426(August), 131900. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131900>
- Zhao, C., Xu, J., Bi, H., Shang, Y., & Shao, Q. (2023). A slow-release fertilizer of urea prepared via biochar-coating with nano-SiO₂-starch-polyvinyl alcohol: Formulation and release simulation. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103264