

## Mengkaji Kombinasi Koagulan Semula Jadi antara Umbut Pisang dan Biji Betik untuk Merawat Air Sisa

Arif Muzammil, Muhammad Amiruddin Mohd Razaid, Muhammad Ikhwan Wafiq Mohd Nizar, Masiri Kaamin\*

*Department of Civil Engineering, Centre for Diploma Studies  
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Pagoh Higher Education Hub, 84600 Pagoh, Johor, MALAYSIA  
Neo Environmental Technology, Centre for Diploma Studies  
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Pagoh Education Hub, 84600 Pagoh, Johor, MALAYSIA*

\*Pengarang Utama: [masiri@uthm.edu.my](mailto:masiri@uthm.edu.my)  
DOI: <https://doi.org/10.30880/mari.2025.06.03.009>

### Maklumat Artikel

Diserah: 1 mac 2025  
Diterima: 1 Mei 2025  
Diterbitkan: 30 Jun 2025

### Kata Kunci

Umbut pisang; biji betik; koagulan semula jadi; ujian balang, kekeruhan

### Abstrak

Rawatan air adalah kaedah penting untuk menghasilkan kuantiti air bersih yang besar bagi memenuhi keperluan penduduk. Proses koagulasi, yang merupakan sebahagian penting dalam rawatan air, berfungsi untuk menyingkirkan partikel terampai, warna, dan bau. Koagulasi konvensional biasanya menggunakan bahan kimia seperti aluminium sulfat dan ferum klorida. Namun, bahan-bahan ini mempunyai beberapa kelemahan, termasuk kos yang tinggi, bahaya kepada alam sekitar, dan risiko kesihatan kepada manusia. Kajian ini menyelidik potensi penggunaan kombinasi antara umbut pisang dan biji betik sebagai koagulan semula jadi untuk rawatan air sisa. Dalam kajian ini, eksperimen koagulan dilaksanakan dengan ujian balang. Ujian ini menggunakan air sungai dari Panchor dan koagulan seperti aluminium sulfat, umbut pisang, biji betik serta kombinasi antara umbut pisang dan biji betik. Hasil kajian ini mendapati bahawa kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik merupakan koagulan dengan prestasi terbaik iaitu peratusan pengurangan kekeruhan air sisa sebanyak 56.94% berbanding aluminium sulfat iaitu 57.56% pada konsentrasi 60mg/L dengan penggunaan dosase sebanyak 20ml. Manakala, kombinasi koagulan pada konsentrasi 100mg/L dengan dosase 3ml mencatatkan nilai pH paling neutral iaitu 7.01 pH dan warna air sisa yang terbaik iaitu 9 ADMI.

### Keywords

Banana pith; papaya seed; natural coagulant; jar test; turbidity

### Abstract

Water treatment is an important method to produce large quantities of clean water to meet the population's needs. The coagulation process, which is an important part of water treatment, serves to remove suspended particles, color, and odor. Conventional coagulation usually uses chemicals such as aluminum sulfate and ferric chloride. However, these materials have several disadvantages, including high cost, environmental hazards, and human health risks. This study investigates the potential use of a combination of banana pulp and papaya seeds as a natural coagulant for

*wastewater treatment. In this study, the coagulant experiment was carried out with a jar test. This test uses river water from Panchor and coagulants such as aluminum sulfate, banana pulp, papaya seeds and a combination of banana pulp and papaya seeds. The results of this study found that the coagulant combination between banana pulp and papaya seeds is the coagulant with the best performance, which is the percentage reduction of wastewater turbidity by 56.94% compared to aluminum sulfate which is 57.56% at a concentration of 60mg/L with the use of a dose of 20ml. While the coagulant combination at a concentration of 100mg/L with a dosage of 3ml recorded the most neutral pH value of 7.01 pH and the best color of the wastewater which was 9 ADMI.*

## 1. Pendahuluan

Rawatan air melibatkan banyak proses seperti pengasingan bahan asing, pemendapan, pencegahan penyakit dan penapisan air [1]. Proses koagulasi adalah salah satu proses yang terlibat dalam rawatan air. Matlamat utama koagulasi adalah untuk membuang bahan yang tercemar seperti lumpur, mikroorganisma, dan bahan pencemar yang lain daripada air [2]. Koagulasi merupakan proses kimia iaitu koagulan ditambah kedalam air sisa untuk menggumpal partikal-partikal menjadi gumpalan yang besar [3]. Bahan kimia seperti aluminium sulfat dan ferum klorida telah digunakan sebagai koagulan kimia dalam rawatan air dengan skala penuh sejak 100 tahun [4]. Namun penggunaan koagulan kimia konvensional dalam rawatan air mempunyai kelemahan seperti memberi kesan buruk terhadap kesihatan manusia dan alam sekitar akibat bahan kimia tidak boleh terbiodegradasikan [5]. Koagulan kimia seperti alum memberikan kesan sampingan terhadap kesihatan seperti sembelit usus, kekejangan dan kolik perut [6]. Di samping itu, masalah besar terhadap alam sekitar adalah sedimen yang terhasil memberi kesan buruk terhadap sumber air kerana ia mengandungi bahan toksik yang tinggi seperti fenol, minyak dan logam berat (BJAAM Environmental). Seterusnya, kos penggunaan koagulan kimia juga lebih mahal di kebanyakan negara yang sedang membangun [7]. Bagi mengatasi masalah-masalah ini, koagulan semula jadi digunakan sebagai alternatif untuk koagulan kimia agar meminimumkan pencemaran alam sekitar dan risiko kesihatan yang disebabkan oleh penggunaan koagulan kimia [8].

Koagulan semula jadi merupakan bahan berasaskan tumbuhan yang mempunyai sifat koagulasi [9]. Antara contoh koagulan semula jadi ialah umbut pisang, biji papaya, biji moringa oleifera, biji nirmali dan daun buah naga. Umbut pisang merupakan bahan buangan dan tidak digunakan untuk sebarang tujuan ekonomi. Ia adalah polielektrolit semula jadi yang boleh bertindak sebagai agen peneutralan cas dan merapatkan partikal-partikal terampai [10]. Seterusnya, biji papaya adalah satu bahagian buah papaya yang tidak boleh dimakan kerana ia mempunyai toksik seperti fitat, glukosinot dan tanin [11]. Namun ia dijadikan sebagai koagulan semula jadi untuk merawat air keruh kerana biji papaya mempunyai protein bercas positif yang dapat bertindak sebagai peneutralan di dalam air. Koagulan yang digunakan mempunyai cas positif yang bertindak meneutralkan partikal bercas negatif untuk menghasilkan ikatan dan bergumpal agar partikal-partikal tersebut tenggelam ke dasar air. Fungsi koagulan adalah untuk mengurangkan kekeruhan, warna dan bau dalam air yang mempengaruhi kualiti air [12]. Objektif kertas ini adalah untuk mengkaji keberkesanan dan kecekapan koagulan semula jadi seperti umbut pisang dan biji betik diuji terhadap paramater kekeruhan, pH dan warna, kemudian membandingkan dengan koagulan aluminium sulfat (standard) untuk mengukur kebolehan koagulan semula jadi.

## 2. Metodologi

### 2.1 Pensampelan Air

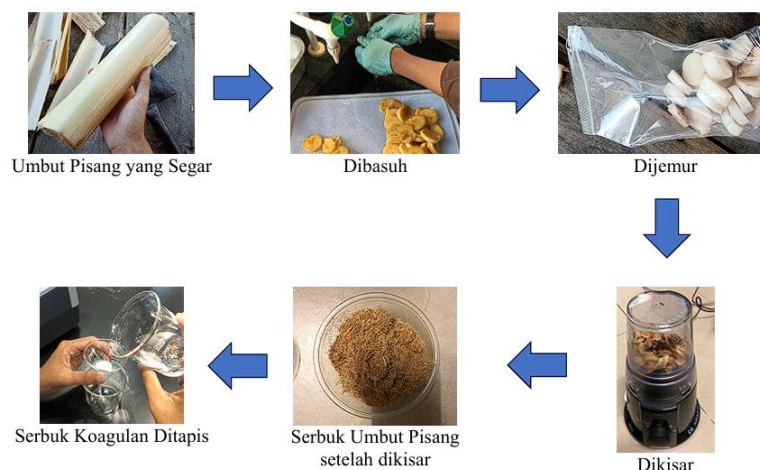
Air sampel yang digunakan dalam kajian ini telah diambil daripada Sungai Panchor, Johor, Malaysia seperti Rajah 1. 30Liter sampel air diambil dengan menggunakan penyedok air dan 3 botol (10L per sampel). Air sampel tersebut disimpan di dalam bilik sejuk yang bersuhu 4 darjah celsius untuk mengekalkan kualiti air. Ia juga bertujuan untuk menyelaraskan suhu air dengan suhu persekitaran yang lebih rendah yang boleh mengurangkan pengaruh cahaya luaran seperti tekanan udara, kelembapan dan cahaya matahari terhadap sampel air serta penting untuk mengekalkan keseimbangan kimia air dengan mengelakkan perubahan pH, kepekatan oksigen terlarut, kekeruhan dan bau yang boleh berlaku akibat pemanasan atau penyejukan yang tidak sekata. Air sampel diuji terhadap 3 parameter iaitu kekeruhan, pH dan warna menggunakan turbidity meter, pH meter dan DR 6000 untuk mendapatkan bacaan awal air sungai seperti Jadual 1.

**Jadual 1** Bacaan Awal Air Sungai Panchor

Parameter	Unit	Nilai
pH	-	6.56
Kekeruhan	NTU	48.3
Warna	ADMI	67

## 2.2 Penyediaan Koagulan Semula Jadi

Dalam penyediaan koagulan semula jadi, umbut pisang yang segar dan tidak busuk digunakan bagi memastikan proses koagulasi dapat dilakukan secara optimum. Sebagai langkah penyediaan koagulan, umbut pisang perlu dicuci dengan menggunakan air bersih. Bahan tersebut juga perlu dipotong dengan ukuran yang lebih kecil sebelum dikeringkan di bawah sinaran matahari selama 3 hari. Seterusnya bagi proses penghalusan, koagulan - koagulan tersebut dihancurkan menggunakan mesin pengisar sehingga menjadi serbuk yang halus. Akhir sekali, serbuk tersebut akan dilarutkan dengan air suling dengan menambahkan air suling secara sedikit demi sedikit. Serbuk koagulan yang telah dilarutkan dengan air suling akan ditapis menggunakan kertas penapis seperti Rajah 1. Bagi menghasilkan larutan koagulan dengan konsentrasi 100mg/L, 100mg umbut pisang akan dicampurkan dengan 1 liter air suling. Langkah ini diulangi bagi larutan konsentrasi 20mg/L dan 60mg/L.



**Rajah 1** Proses - proses Menyediakan Koagulan Umbut Pisang

Proses penghasilan larutan koagulan biji betik dan kombinasi antara umbut pisang dan biji betik melalui proses yang sama seperti penyediaan koagulan umbut pisang.

## 2.3 Ujikaji Koagulan

Pengujian koagulan dilakukan dengan ujian Jar Test iaitu air sungai dicampurkan dengan koagulan semula jadi serta aluminium sulfat. Roda pemutar dalam rajah 3 akan berputar secara cepat iaitu 80 RPM selama 3 minit, kemudian berputar secara perlahan iaitu 30 RPM selama 20 minit dan akhir sekali roda pemutar berhenti berputar selama 5 minit.

### 2.3.1 Konsentrasi

Koagulan semula jadi seperti umbut pisang, biji betik dan kombinasi antara umbut pisang dan biji betik diuji dengan konsentrasi larutan yang berbeza iaitu 20mg/L, 60mg/L dan 100mg/L. Nilai-nilai ini ditentukan daripada kajian lepasan oleh [13][14]. Keberkesanan koagulan semula jadi ditentukan dengan pengujian terhadap dua parameter iaitu kekeruhan, warna dan pH.

### 2.3.1.1 Kekeruhan

Air sampel yang telah menjalani proses *jar test* akan diuji dengan mesin *turbidity meter* untuk membaca nilai kekeruhan dalam unit NTU. Setiap konsentrasi koagulan yang dimasukkan kedalam bikar berisi air sungai akan diuji selepas proses ujian balang.

### 2.3.1.2 pH

Pengujian terhadap pH dilakukan untuk mengukur sifat air sama ada asid atau alkali [15]. Pengukuran langsung paras pH air sisa boleh berbeza-beza secara mendadak disebabkan oleh variasi suhu air, aliran air dan bahan kimia bahan yang terdapat di dalam air. Oleh itu, pengukuran yang tepat bagi nilai pH air sisa juga memerlukan pengukuran suhu air.

## 2.3.2 Dosage

Koagulan semula jadi yang dikaji iaitu umbut pisang, biji betik dan kombinasi antara umbut pisang dan biji betik yang digunakan adalah 1 ml, 2 ml, 3 ml dan 4 ml dengan setiap dosage mempunyai kepekatan yang sama iaitu 20mg/L, 60mg/L dan 100mg/L. Penentuan keberkesanan koagulan ini akan diuji terhadap 3 parameter iaitu kekeruhan, pH dan warna.

### 2.3.2.1 Kekeruhan

Proses pengujian kekeruhan bagi penggunaan dosage koagulan yang berbeza adalah sama seperti proses yang dilalui dengan penggunaan konsentrasi koagulan yang berbeza untuk menentukan kekeruhan air sisa.

### 2.3.2.2 pH

Nilai pH air sisa bagi ujian yang menggunakan dosage koagulan yang berbeza dan konsentrasi koagulan yang berbeza boleh diperolehi dengan menggunakan Turbidity Meter. Untuk proses koagulan, parameter yang optimum seperti pH dikaji untuk menentukan keberkesanan maksimum [16].

### 2.3.2.3 Warna

Pengujian warna akan dilaksanakan setelah proses *Jar Test* untuk menentukan tahap kejernihan air sungai selepas menambah bilangan koagulan dengan dosage yang berlainan. Satu unit warna adalah bersamaan dengan warna yang dihasilkan oleh larutan 1 mg/L platinum [17]. Ujian warna diuji menggunakan mesin DR 6000.

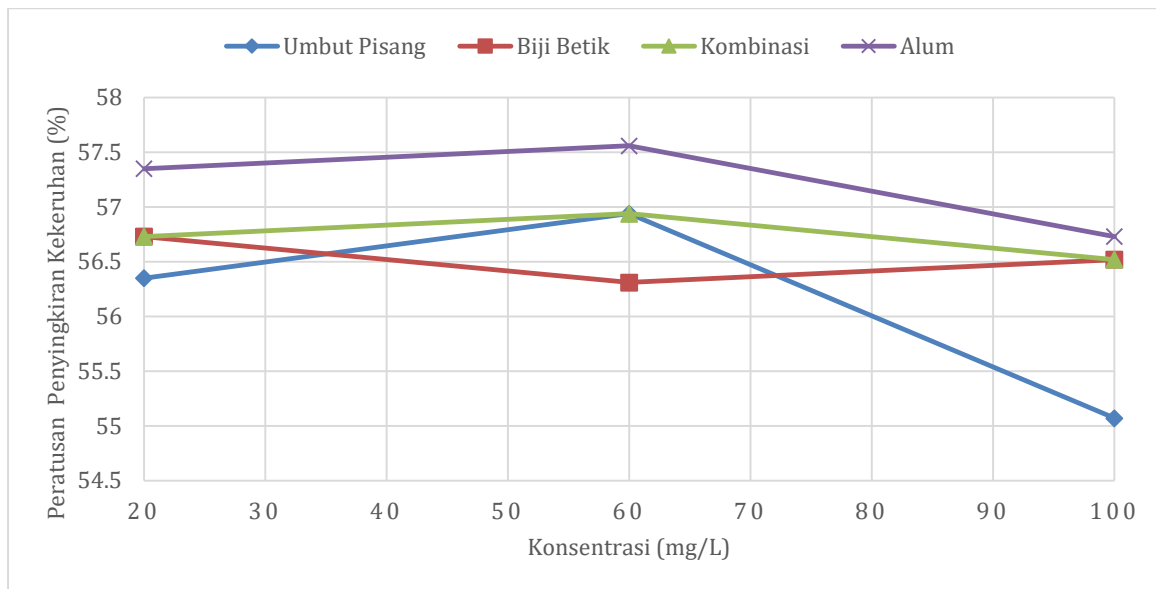
## 3. Hasil dan Analisis

### 3.1 Kecekapan Koagulan dengan Konsentrasi Berbeza

Dalam analisis ini, terdapat 3 konsentrasi koagulan yang digunakan iaitu 20mg/L, 60mg/L dan 100mg/L. Ujian ini dapat menentukan kecekapan penyingkiran kekeruhan bagi setiap jenis koagulan.

#### 3.1.1 Kekeruhan

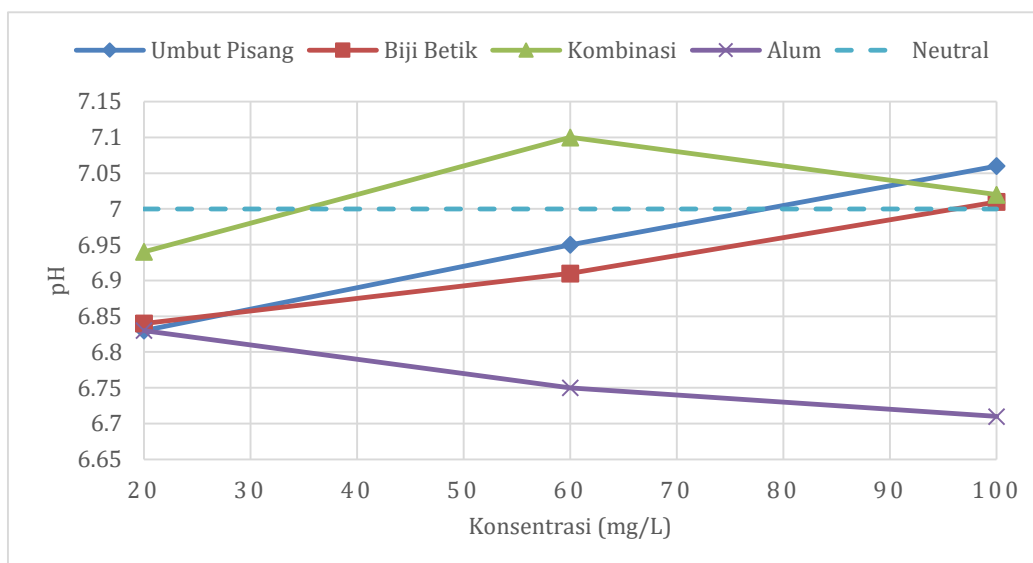
Graf lengkungan peratusan penyingkiran kekeruhan melawan konsentrasi koagulan ditunjukkan seperti Rajah 2. Ia menunjukkan bahawa umbut pisang, kombinasi koagulan semula jadi dan alum membentuk lengkungan memuncak iaitu titik maksimum berada pada konsentrasi 60mg/L. Manakala biji betik membentuk lengkungan mengundur iaitu titik minimum berada pada konsentrasi 60mg/L. Nilai peratusan penyingkiran kekeruhan bagi kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik adalah yang paling konsisten dan terdekat dengan nilai peratusan penyingkiran kekeruhan koagulan alum. Secara keseluruhan, konsentrasi pada 60mg/L mencatatkan nilai peratusan penyingkiran kekeruhan paling tinggi berbanding 20mg/L dan 100mg/L. Koagulan umbut pisang dan kombinasi merupakan koagulan dengan peratusan penyingkiran kekeruhan tertinggi iaitu 56.94% berbanding alum iaitu 57.56%. Pada konsentrasi 100mg/L, perbezaan nilai peratusan bagi koagulan biji betik dan kombinasi sangat kecil dan hampir kepada nilai kekeruhan alum iaitu sebanyak 0.21%. Aluminium sulfat mencapai peratusan penyingkiran kekeruhan sebanyak 56.73%, manakala koagulan semula jadi seperti biji betik dan kombinasi adalah 56.52%. Secara keseluruhan, kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik merupakan koagulan semula jadi yang paling baik dan menunjukkan prestasi cemerlang bagi setiap konsentrasi koagulan.



Rajah 2 Peratusan Penyingkiran Kekeruhan Air Sisa

### 3.1.2 pH

Rajah 3 menunjukkan graf lengkungan bagi pH air sungai melawan konsentrasi koagulan. Semua koagulan semula jadi menunjukkan lengkungan yang semakin meningkat keatas, manakala koagulan kimia iaitu aluminium sulfat memplotkan graf lengkungan yang semakin menurun kebawah. Pada konsentrasi 60mg/L, kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik mencatatkan nilai pH yang baik iaitu 7.01 pH. Pada konsentrasi 100mg/L, biji betik mencapai nilai 7.01 pH, manakala kombinasi koagulan 7.02 pH. Tahap ke-asidan dan ke-alkalian yang bagus untuk air adalah sifat neutral iaitu 7 pH. Koagulan alum menunjukkan garisan yang semakin menjauhi nilai neutral dan menghampiri kepada nilai asid. Oleh itu, kombinasi koagulan umbut pisang dan biji betik merupakan koagulan yang paling baik kerana nilai pH bagi setiap tahap konsentrasi berada pada nilai yang hampir kepada neutral.



Rajah 3 Bacaan pH dengan Konsentrasi Koagulan yang Berbeza

Kesimpulan daripada ujikaji ini mendapati bahawa keberkesanan dan kecekapan koagulan dapat ditentukan dengan melihat kepada konsentrasi yang diperlukan oleh sesuatu koagulan untuk mencapai peratus penyingkiran kekeruhan tertinggi. Setiap koagulan mempunyai konsentrasi yang berbeza untuk mendapatkan hasil penyingkiran kekeruhan yang terbaik. Dalam ujian ini dapat dilihat bahawa umbut pisang, kombinasi umbut

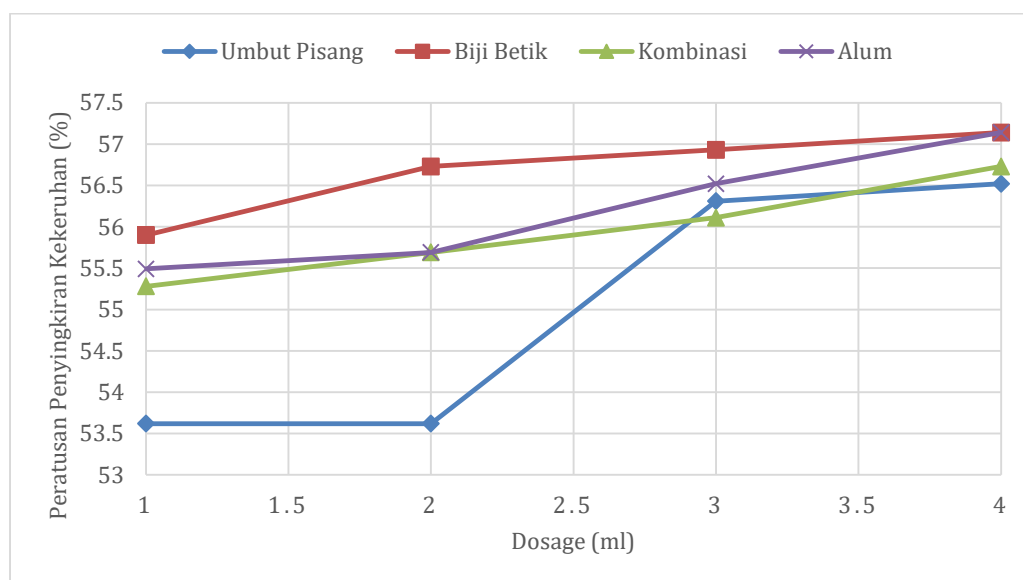
pisang & biji betik dan alum memerlukan konsentrasi 60 mg/L manakala biji betik hanya memerlukan konsentrasi 20 mg/L untuk mendapatkan bacaan kekeruhan yang paling berkesan.

### 3.2 Kecekapan Koagulan dengan Dosage Berbeza

Bagi analisis perbezaan diantara koagulan semula jadi (umbut pisang, biji betik dan kombinasi) dengan aluminium sulfat (alum) sebagai standard terhadap bilangan dosage, terdapat empat kadar dosage yang berbeza telah di uji iaitu 1ml, 2ml, 3ml dan 4ml. Keempat-empat dosage ini diuji berdasarkan 3 parameter air iaitu kekeruhan, nilai pH dan warna. Setiap ujikaji melalui proses yang sama iaitu air sampel dari Sungai Panchor akan dicampurkan dengan koagulan tetapi hanya kadar dosage sahaja yang berbeza dan terus diuji melalui kekeruhan menggunakan turbiditi meter, pH menggunakan pH meter dan warna menggunakan mesin DR6000.

#### 3.2.1 Kekeruhan

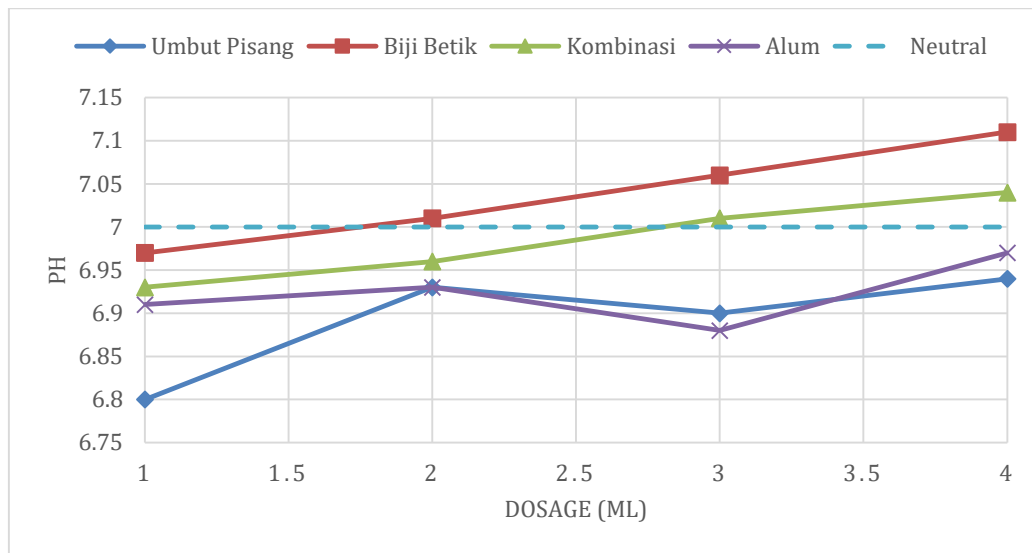
Graf lengkungan peratusan penyingkiran kekeruhan melawan bilangan dosage koagulan ditunjukkan dalam Rajah 4. Ia menunjukkan bahawa semua jenis koagulan bertambah dari dosage 1ml sehingga dosage 4ml. Nilai peratusan penyingkiran kekeruhan bagi biji betik pada dosage 4ml adalah sama dengan nilai aluminium sulfat (standard). Secara keseluruhan, nilai peratusan penyingkiran kekeruhan bagi biji betik pada dosage 4ml mencatatkan nilai yang paling tinggi berbanding dosage 1, 2 dan 3ml. Biji betik merupakan agen koagulan yang terbaik untuk merawat air mentah loji kerana ia menghasilkan bacaan tertinggi untuk peratusan penyingkiran kekeruhan iaitu 57.14% sekali gus menyamai nilai peratusan kekeruhan standard iaitu aluminium sulfat. Oleh itu, terbukti bahawa biji betik adalah koagulan yang terbaik berbanding koagulan - koagulan yang lain kerana nilainya terendah. Oleh itu, terbukti bahawa biji betik adalah koagulan yang terbaik berbanding koagulan - koagulan yang lain kerana nilainya terendah [18].



Rajah 4 Bacaan kekeruhan dengan dosage koagulan yang berbeza

#### 3.2.2 pH

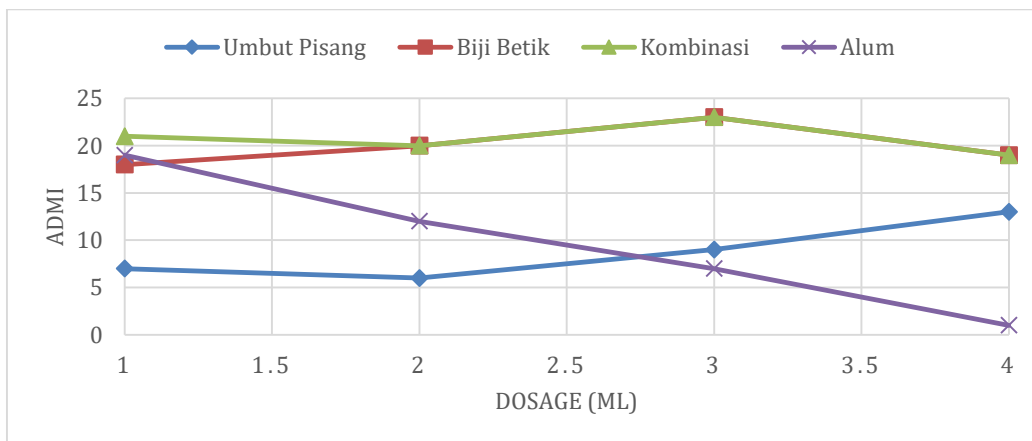
Rajah 5 menunjukkan graf lengkungan nilai pH melawan dosage terhadap jenis koagulan. Nilai pH kesemua jenis koagulan didapati meningkat dari dosage 1ml sehingga dosage 4ml. Kombinasi koagulan antara umbut pisang & biji betik menunjukkan konsistensi untuk mencapai pH 7 iaitu natural seperti 7.04 pada dosage 4ml. Koagulan ini mampu bersaing dengan aluminium sulfat (standard) pada dosage 4ml iaitu 6.97 kerana kedua-duanya menghampiri pH 7. Secara amnya nilai pH perlu dihadkan antara pH 6.3- 7.6 dalam proses flokulasi dimana kesemua jenis koagulan menepati syarat tersebut [19].



Rajah 5 Bacaan pH dengan dosage koagulan yang berbeza

### 3.2.3 Warna

Graf lengkungan warna melawan dosage ditunjukkan dalam Rajah 6. Bacaan warna menunjukkan kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik menurun berbanding bacaan warna bagi koagulan umbut pisang dan biji betik. Nilai kekeruhan bagi kombinasi antara umbut pisang dan biji betik pada dosage 4ml menunjukkan nilai terendah nilai di antara koagulan – koagulan lain. Secara keseluruhan, nilai kekeruhan bagi kombinasi antara umbut pisang dan biji betik pada dosage 4ml mencatatkan nilai yang paling rendah berbanding dosage 1, 2 dan 3ml. Oleh yang demikian, terbukti bahawa kombinasi antara umbut pisang dan biji betik adalah koagulan yang terbaik berbanding koagulan – koagulan lain menurut nilai yang didapati di dalam ujikaji.



Rajah 6 Bacaan warna dengan dosage koagulan yang berbeza

Kesimpulan daripada ujikaji ini mendapati bahawa koagulan biji betik merekodkan bacaan kekeruhan paling rendah iaitu 20.1 NTU manakala kombinasi koagulan umbut pisang dan biji betik mencatatkan nilai terbaik bagi pH pada dosage 4ml iaitu 7.04 pH. Selepas itu, hasil ujian warna pada kombinasi koagulan umbut pisang dan biji betik adalah 11 admi berbanding umbut pisang iaitu 13 admi. Secara keseluruhan, koagulan terbaik bagi ujian perbezaan dosage adalah kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik kerana koagulan ini berkesan terhadap ujian pH dan warna. Kombinasi koagulan juga menampilkan prestasi yang paling konsisten antara koagulan semula jadi serta menyaingi prestasi koagulan alum yang dijadikan sebagai standard dalam ketiga-tiga pengujian ini.

## 4. Rumusan

Kajian ini menguji tiga ujikaji yang berbeza iaitu ujian kekeruhan, ujian pH, dan ujian warna untuk melihat seberapa baik umbut pisang, biji betik, dan kombinasi antara umbut pisang dan biji betik berfungsi dalam merawat air sisa. Didapati bahawa setiap kaedah berfungsi dengan baik pada kepekatan yang berbeza bagi setiap koagulan tersebut. Ujikaji ini juga mengkaji bagaimana agen koagulan semulajadi, seperti umbut pisang dan biji betik, mempengaruhi kualiti air. Hasil kajian menunjukkan bahawa kombinasi koagulan antara umbut pisang dan biji betik merupakan koagulan yang terbaik bagi setiap jenis konsentrasi kerana mencapai nilai kekeruhan terendah dan nilai pH yang paling baik. Kombinasi koagulan umbut pisang & biji betik juga merupakan koagulan yang terbaik dalam dosage yang berbeza kerana ia menunjukkan konsistensi dalam setiap dosage. Jelaslah kombinasi koagulan umbut pisang & biji betik mampu bersaing dengan aluminium sulfat (standard) untuk merawat air sisa yang kotor.

## Penghargaan

Kami ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada Pusat Pengajian Diploma, Perpustakaan Tunku Tun Aminah UTHM dan Universiti Tun Hussein Onn MALAYSIA (UTHM) untuk sokongan rujukan di bawah Prof Madya Ts. Haji Masiri bin Kaamin. Kami juga ingin berterima kasih kepada staf Makmal Kejuruteraan Alam Sekitar, Kimia dan Sains Gunaan untuk menyediakan akses kepada kemudahan mereka serta bantuan pertolongan dalam makmal.

## Konflik Kepentingan

Penulis mengisytiharkan bahawa tiada konflik kepentingan berkaitan dengan penerbitan kertas ini

## Sumbangan Penulis

Penulis mengesahkan sumbangan terhadap kertas ini seperti berikut: konsep dan reka bentuk kajian: Arif Muzammil, Muhammad Amiruddin Mohd Razaid, Muhammad Ikhwan Wafiy Mohd Nizar, Masiri Kaamin; pengumpulan data: Arif Muzammil, Muhammad Amiruddin Mohd Razaid, Muhammad Ikhwan Wafiy Mohd Nizar; analisis dan interpretasi hasil: Arif Muzammil, Muhammad Amiruddin Mohd Razaid, Muhammad Ikhwan Wafiy Mohd Nizar; penyediaan draf manuskrip: Arif Muzammil, Muhammad Amiruddin Mohd Razaid, Muhammad Ikhwan Wafiy Mohd Nizar. Semua penulis telah menyemak hasil dan meluluskan versi akhir manuskrip.

## Rujukan

- [1] D. Ghernaout, "Increasing trends towards drinking water reclamation from treated wastewater," *World Journal of Applied Chemistry*, vol. 3, no. 1, pp. 1-9, 2018.
- [2] D. Ghernaout, and S. Arabia, "Water treatment coagulation: dares and trends," *Open Access Library Journal*, vol. 7, no. 08, pp. 1, 2020.
- [3] J. C. Crittenden, R. R. Trussell, D. W. Hand, K. J. Howe, and G. Tchobanoglous, "MWH's water treatment: principles and design," John Wiley & Sons, 2012.
- [4] J. Q. Jiang, "The role of coagulation in water treatment," *Current Opinion in Chemical Engineering*, vol. 8, pp. 36-44, 2015.
- [5] M. B. Bahrodin, N. S. Zaidi, N. Hussein, M. Sillanpää, D. D. Prasetyo, and A. Syafiuddin, "Recent advances on coagulation-based treatment of wastewater: Transition from chemical to natural coagulant," *Current Pollution Reports*, vol. 7, no. 3, pp. 379-391, 2021.
- [6] J. Saravanan, D. Priyadarshini, A. Soundammal, G. Sudha, and K. Suriyakala, "Wastewater treatment using natural coagulants," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 40-42, 2017.
- [7] F. K. Amagloh, and A. Benang, "Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification," *African journal of agricultural research*, vol. 4, no. 2, pp. 119-123, 2009.
- [8] B. Koul, N. Bhat, M. Abubakar, M. Mishra, A. P. Arukha, and D. Yadav, "Application of natural coagulants in water treatment: a sustainable alternative to chemicals," *Water*, vol. 14, no. 22, pp. 3751, 2022.
- [9] A. Nath, A. Mishra, and P. P. Pande, "A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 6113-6117, 2021.
- [10] P. Bertsch, S. Isabettni, and P. Fischer, "Ion-induced hydrogel formation and nematic ordering of nanocrystalline cellulose suspensions," *Biomacromolecules*, vol. 18, no. 12, pp. 4060-4066, 2017.
- [11] E. K. Marfo, O. L. Oke, and O. A. Afolabi, "Chemical composition of papaya (*Carica papaya*) seeds," *Food Chemistry*, vol. 22, no. 4, pp. 259-266, 1986.

- [12] T. Joko, D. A. C. Putri, and H. L. Dangiran, "*Chitosan on reducing chemical oxygen demands in laundry wastewater,*" International Journal of Sciences, vol. 30, no. 1, pp. 104-111, 2016.
- [13] A. H. Amran, N. S. Zaidi, A. Syafiuddin, L. Z. Zhan, M. B. Bahrodin, M. A. Mehmood, and R. Boopathy, "*Potential of Carica papaya seed-derived bio-coagulant to remove turbidity from polluted water assessed through experimental and modeling-based study,*" Applied Sciences, vol. 11, no. 12, pp. 5715, 2021.
- [14] N. M. Mokhtar, M. Priyatharishini, and R. A. Kristanti, "*Study on the effectiveness of banana peel coagulant in turbidity reduction of synthetic wastewater,*" International Journal of Engineering Technology and Sciences, vol. 6, no. 1, pp. 82-90, 2019.
- [15] M. Tomar, "Quality assessment of water and wastewater," CRC press, 1999.
- [16] V. Saritha, N. Srinivas, and N. V. Srikanth Vuppala, "*Analysis and optimization of coagulation and flocculation process,*" Applied Water Science, vol. 7, pp. 451-460, 2017.
- [17] C. C. Hughes, "*Resolution Submitted To Apha,*" Journal of the Nevada Public Health Association, vol. 1, no. 2, pp. 8, May 2005.
- [18] R. Kamarudin, "Kajian Perbandingan Kesan Penggunaan Empat Jenis Agen Koagulan Berdasarkan Kaedah Ujian Balang Bagi Merawat Air Mentah Loji Air Cheras," Masters thesis, Universiti Putra Malaysia, 2001.
- [19] T. B. S. Kodukula, P. S. Prakasam, and A. C. Anthonisen, "*Role of pH in biological wastewater treatment processes,*" In Physiological models in microbiology, pp. 113-135, 2018.