

# Proses Pengentalan-Penggumpalan Efluen Industri Akuakultur Menggunakan Penggumpal Asli

Siti Norhatikah Ali, Siti Shilatul Najwa Sahrudin\* Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Nur 'Izzati Ismail

Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia,  
43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

\*Corresponding Author: sitishilatulnajwa@gmail.com

Copyright©2022 by authors, all rights reserved. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License

Received: 01 October 2022; Revised: 25 October 2022; Accepted: 20 November 2022; Published: 30 December 2022.

**Abstract:** Penggumpal ialah sesuatu bahan yang berpositif caj yang ditambah ke dalam air dan diadukkan untuk menuetralkan caj. Penggumpal lazim seperti alum, kapur dan ferik klorida mempunyai sifat yang mampu memberi kesan kepada kesihatan manusia. Antara kesannya ialah penyakit Alzheimer. Oleh itu sebagai alternatifnya dengan menggantikan penggumpal asli sebagai agen penggumpal. Penggumpal asli lebih mesra alam dan tidak menjejaskan untuk kesihatan manusia. Penggumpal asli biasanya diekstrak daripada tumbuhan, haiwan dan mikroorganisma. Dalam kajian, proses pengentalan- penggumpalan menggunakan penggumpal asli dan penggumpal lazim dalam pencirian air sisa daripada industri akuakultur yang melibatkan beberapa parameter seperti kekeruhan, BOD5, COD, pH dan pepejal terampai. Selain itu, keberkesanan penggumpal asli dan penggumpal lazim ditentukan oleh ujian kekeruhan dan jumlah pepejal terampai. Teknologi arawatan yang digunapakai untuk merawat air sisa mempunyai beberapa kaedah seperti kaedah kimia, biologi dan fizikal. Teknologi yang sering digunakan ialah kaedah biologi. Salah satu contoh kaedah biologi ialah fitoremediasi. Fitoremediasi menunjukkan prestasi yang baik antara teknologi yang lain. Selain itu, terdapat dua jenis penggumpal yang digunakan untuk merawat air sisa iaitu penggumpal lazim dan penggumpal asli. Penggumpal asli lebih selamat digunakan berbanding penggumpal lazim tetapi penggumpal asli biasanya dihasilkan dalam skala yang kecil. Prestasi setiap penggumpal asli ataupun penggumpal lazim yang digunakan dibandingkan mengikut parameter yang sama.

**Keywords:** *Proses pengentalan dan penggumpalan; penggumpal lazim; penggumpal asli; ujian kekeruhan; pepejal terampai*

## 1. Pengenalan

Akuakultur ialah proses penternakan ikan, kerang, udang dan tumbuhan akuatik. Ekonomi akuakultur semakin berkembang pesat dan merupakan sumber protein yang terbesar kepada negara. Pada tahun 2014, jumlah pengeluaran akuakultur global termasuk tumbuhan akuatik ialah 101.1 juta tan yang bernilai 165.8 USD bilion (FAO, 2016).

Di Malaysia terdapat dua jenis sistem penternakan ikan iaitu penternakan sangkar dan penternakan darat. Penternakan sangkar dimana ikan akan ditenak di dalam sangkar yang dibina di dalam sungai [1]. Untuk jenis ini, air buangan ikan akan terus dilepaskan ke sungai. Hal ini kerana terdapat peredaran air keluar masuk Penternakan darat ialah ikan ditenak di dalam tangki. Kebiasaannya untuk penternakan ikan jenis ini akan mendapatkan sumber air dari sungai ataupun dari syarikat air yang berdekatan. Dalam

**Corresponding Author:** Siti Shilatul Najwa Sahrudin, Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia. Email: sitishilatulnajwa@gmail.com

industri ini, ikan-ikan akan dijaga dan diberikan makanan untuk tumbesaran. Air sisa daripada penternakan ikan harus dirawat sebelum dilepaskan ataupun digunakan semula [2]. Air sisa daripada industri penternakan ikan mempunyai nitrogen dan fosforus yang tinggi. Hasil buangan penternakan ikan akan memberi kesan kepada alam sekitar akan tetapi kesannya lebih rendah berbanding dengan kesan dari buangan domestik dan buangan industri.

Kandungan nitrogen yang tinggi boleh menyebabkan ledakan alga dan eutrofikasi. Kedua-dua kesan ini akan menyebabkan oksigen dalam air berkurangan dan boleh menjejaskan kehidupan akuatik. Antara kaedah yang digunakan untuk merawat air sisa dari penternakan ikan di darat iaitu dengan menggunakan kaedah mendakan [3]. Kaedah ini dijalankan dengan membiarkan zarah pepejal, hasil buangan dan makanan yang tidak dimakan terapung di atas dan bahan yang lebih tumpat akan mendap ke bawah [4]. Selain itu, kaedah lain yang digunakan seperti penapisan mekanikal dan penapisan secara biologi. Dalam industri penternakan ikan, air dalam kolam menjadi keruh akibat daripada dedak makanan yang telah hancur dan nutrien daripada bahan buangan ikan. Dalam rawatan air, penggumpalan dan pengentalan adalah kaedah yang telah digunakan sejak berabad lagi. Penggumpalan ialah satu proses yang menggabungkan zarah-zarah kecil menjadi gumpalan yang besar dan untuk menyerap bahan organik yang terlarut jadi ketidaktulenan boleh disingkirkan menggunakan proses pemisahan pepejal/cecair. Air buang boleh dirawat semula dengan menggunakan teknik-teknik tertentu. Sebagai contoh merawat air buangan menggunakan kaedah kimia [5].

Antara kaedah kimia ialah alum dan alum akan menggumpal dan akan mendap ke bawah. Kegunaan alum dalam rawatan air dapat memberikan kesan negatif kepada kesihatan manusia seperti sembelit, sawan, kehilangan tenaga dan hilang daya ingatan. Pada era sekarang, masalah ini telah membuka mata tentang bahaya penggumpal-pengental tidak asli. Penggumpal-pengental asli telah banyak digunakan kerana kaedah ini lebih selamat. Kebanyakan penggumpal-pengental semula jadi diekstrak daripada haiwan, tumbuhan dan mikroorganisma. Antara bahan semula jadi yang diekstrak daripada tumbuhan dan dijadikan penggumpal-pengental ialah kaktus, daun moringa, buah petai belalang, lidah buaya dan bunga raya. Penggumpal semula jadi mempunyai sifat boleh larut dan dianggap selamat untuk kesihatan manusia [6].

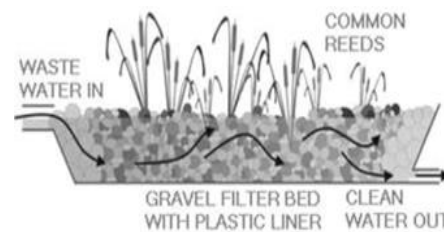
## 2. Teknologi Rawatan Yang Digunakan Dalam Merawat Air Sisa Akuakultur

Pada hari ini telah banyak teknologi yang digunakan untuk merawat air sisa. Teknologi yang sedang berkembang digabungkan dengan pengurusan yang betul, air sisa dapat ditakrifkan semula sebagai sumber bermanfaat. Teknologi pada hari ini lebih kepada rawatan konvensional hijau.

Dengan populasi manusia yang semakin meningkat, selalu ada keperluan menarik untuk mengembangkan Tindakan pemulihan yang sesuai dengan peredaran masa.

Beberapa teknik konvensional yang digunakan untuk merawat efluen air sisa seperti pertukaran ion, pengekstrakan pelarut, osmosis terbalik, pemendapan dan penapisan memerlukan kos penyelenggaraan dan operasi yang tinggi tetapi kurang cekap dalam mengurangkan pencemaran seperti logam berat [7]. Tujuan utama kaedah ini untuk menyingkirkan ketidaktulenan seperti kekeruhan air. Penggumpal ialah bahan kimia yang penting yang telah dikembangkan oleh penyelidik untuk menstabilkan zarah-zarah. Penggumpalan ialah cara terbaik untuk menyingkirkan logam berat. Jika air sisa dirawat menggunakan kaedah biologi, ciri logam berat yang tidak terbiodegradasi boleh melepaskannya dan menyebabkan ianya tidak berkesan. Walaubagaimanapun, pengurangan permintaan oksigen kimia selalu dicatatkan rendah dalam aerobik dan anaerobik dalam rawatan biologi kerana kewujudan logam berat itu [9].

Salah satu rawatan biologi ialah fitoremediasi. Fitoremediasi ialah proses rawatan yang menyelesaikan masalah persekitaran dengan menggunakan tumbuhan yang mampu mengurangkan pencemaran alam sekitar tanpa menggali pencemar dan membuangnya di tempat lain [3]. Fitoremediasi ialah pengurangan kepekatan pencemar dalam tanah yang tercemar atau air menggunakan tumbuhan yang mampu menggumpalkan atau menghapuskan logam berat, racun perosak. Rajah 1.0 menunjukkan contoh fitoremedias



Rajah 1.0 Aliran bawah khas yang dibina di tanah lembab

Jadual 1.0 menunjukkan teknologi rawatan yang digunakan untuk merawat efluen industri akuakultur. Kebanyakan menggunakan kaedah rawatan biologi. Dalam kajian [3] menggunakan kaedah biologi dengan menggunakan kaedah tanah lembab yang berasaskan arang. Dalam menggunakan kaedah ini, COD dapat dikurangkan sehingga 88% dan BOD5 sebanyak 93%. Pengurangan COD boleh dikaitkan dengan penyerapan nutrient yang tidak terlarut dan kapasiti penapisan akar tumbuhan. BOD5 dapat dikurangkan apabila efluen melepasi akar pokok dan rizom dimana lapisan mikrob menggunakan bahan tidak terlarut untuk pertumbuhan.

Jadual 1.0 Teknologi rawatan air sisa yang digunapakai

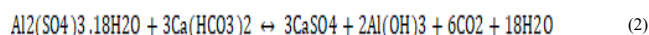
Teknik rawatan	Kaedah rawatan air sisa buangan	Prestasi kaedah rawatan
Fizikal dan biologi	Menggunakan kaedah tanah lembap berasaskan arang	Pengurangan COD: 88% BOD5:93%
Biologi	Bio-penyerapan menggunakan biojisim spirulina	Pengurangan logam berat
Biologi	Bioremediasi menggunakan <i>Bacillus</i> sp.	Pengurangan COD: 15% BOD5: 25%
Biologi	Fitoremediasi menggunakan kiambang itik	Pengurangan COD: 96.26% BOD5:96.60%
Biologi	Fitoremediasi menggunakan keladi bunting ( <i>Eichhonia crassopes</i> )	Pengurangan COD: >49% Kekeruhan: > 85%
Biologi	Fitoremediasi menggunakan kiambang ( <i>Pistia stratiotes</i> )	Pengurangan COD:>30% Kekeruhan: > 92%
Fizikal	Penapis membrane bersaiz 0.05 µm	Pengurangan Pepejal terampai:> 94% BOD: 76%

Mengikut kajian [10], biojisim spirulina digunakan dalam merawat efluen akuakultur. Biojisim spirulina dikenali sebagai bio-penyerap yang digunakan untuk menyingkirkan logam berat dari sistem akuakultur. Logam berat amat berbahaya kepada pertumbuhan dan kehidupan akuakultur. Kajian yang lepas membuktikan kiambang itik menunjukkan prestasi yang baik berbanding *Bacillus* sp. kekeruhan yang disingkirkan dengan menggunakan kiambang itik sebanyak 96.26% manakala *Bacillus* sp. hanya 15%. Kajian yang dijalankan oleh [14] menggunakan kaedah fitoremediasi dengan menggunakan kiambang dan keladi bunting. Kiambang dapat mengurangkan kekeruhan lebih 92% dan keladi bunting dapat mengurangkan kekeruhan lebih 85%. Dalam hal ini kiambang lebih baik berbanding keladi bunting dalam mengurangkan kekeruhan.

### 3. Penentuan penggumpal/pengental efektif dalam penyingkiran pepejal terampai

Aluminium sulfat (alum) ialah penggumpal yang sering digunapakai dalam proses rawatan air sisa dan senang untuk mengendalikan dan menghasilkan kurang enapan berbanding kapur. Kelemahan utamanya ialah paling berkesan pada pH 6.5-7.5. ferik klorida juga antara penggumpal yang sering

digunakan dan berkesan pada pH 4 – 11. Flok hidroksida lebih berat berbanding dengan flok alum. Kapur juga sering digunakan dan berkesan tetapi ianya sangat bergantung kepada pH dan menghasilkan enapan dengan kuantiti yang besar dan memerlukan pelupusan. Apabila alum ditambah ke dalam air sisa akan terhasilnya aluminium hidroksida.



Aluminium hidroksida yang tidak larut ialah seperti flok gel yang akan mendap dengan perlahan-lahan. Kealkalian diperlukan untuk tindak balas ini dan jika tiada, kealkalian perlu ditambah pada kadar 0.55 mg/l kalsium karbonat untuk 1 mg/l alum. Begitu juga dengan ferik klorida dan kapur. Pada penilaian antara alum dan ferik klorida dalam proses penggumpalan-pengentalan. Berdasarkan Jadual 2.0 kedua-dua penggumpal mempunyai keberkesanan dalam menyingkirkan pepejal terampai dengan nilai permulaan yang hampir kepada 100-10 mg/l pada dos 90 mg/l. pengentalan dan halaju pengadukkan memainkan peranan dalam menyingkirkan ketidaktulen untuk kedua-duanya. Pentingnya kelajuan pengadukkan dan masa penahanan untuk ujian jar bagi setiap efluen.

Jadual 2.0 Nilai TSS menggunakan penggumpal kimia yang berbeza

Dos (mg/l)	TSS alum (mg/l)	TSS ferik klorida (mg/l)
Air mentah	94.2	87.5
0	74.8	65.7
20	31.6	20.4
40	7.0	12.5
60	5.6	11.6
90	5.1	6.1
120	5.0	6.1

Dalam skala makmal, penggumpalan dan pengentalan digunakan dengan menggunakan ujian jar. Ujikaji dijalankan dengan dua langkah. Satu dengan pengadukkan dengan halaju tinggi dan dengan halaju rendah. Penggumpal dicampur semasa pengadukkan pada halaju tinggi. Pengadukan yang cukup sangat penting untuk kedua-dua langkah jadi penggumpalan zarah berlaku semasa proses pemendakan [11] dimana pepejal dipisahkan daripada air yang telah dirawat. Beberapa kajian telah dibuat dengan menggantikan penggumpal kimia kepada penggumpal yang lebih hijau dan mesra alam. Penggumpal asli biasanya diekstrak daripada tumbuhan kerana lebih bebas toksik [12]. Penggunaan penggumpal asli semakin terkenal kerana mesra alam teknologi dan dating daripada sumber yang boleh diperbaharui dan boleh didapati walaupun dalam pedalaman [13]. Penggumpal asli dapat membentuk jambatan kimia dengan pepejal terampai semasa proses penggumpala seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3.0.

Jadual 3.0 Jenis-jenis penggumpal asli dan lazim dalam menyingkirkan pepejal terampai

Jenis penggumpal	Penggumpal	Prestasi penggumpal
Penggumpal lazim	Alum	96.86%
Penggumpal lazim	Polimer	>96%
Penggumpal asli	Kulit ubi kayu	45.98%
Penggumpal asli	Beras kanji	>85%

Dalam penyingkiran pepejal terampai (TSS), penggumpal lazim seperti alum dan polimer sangat berkesan untuk menyingkirkan TSS jika dibandingkan dengan penggumpal asli. Jika dibandingkan polimer dengan alum, polimer lebih baik kerana polimer hanya memerlukan dos yang rendah dan tidak memerlukan penyesuaian pH untuk berkesan dalam menyingkirkan TSS. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.0, kulit ubi kayu digunakan sebagai penggumpal asli dalam kajian lepas, penggumpal asli ini dapat menyingkirkan TSS sebanyak 45.98% berbanding dengan beras kanji sebagai penggumpal asli. Beras kanji dapat menyingkirkan TSS lebih daripada 85%. Dalam hal ini, untuk penggumpal lazim polimer lebih dicadangkan berbanding alum manakala untuk penggumpal asli pula beras kanji lebih baik untuk dijadikan penggumpal asli.

#### 4. Perbandingan Keberkesanan Penggumpal/Pengental Asli Dengan Penggumpal/Pengental Kimia

Penggumpal kimia senang untuk digunakan dan berkesan merupakan sebab penggunaannya meluas dalam rawatan air sisa. Pada abad ke 18, Amerika merupakan negara yang paling banyak menggunakan penggumpal kimia dalam merawat air sisa diikuti dengan China [16]. Dalam ujikaji rawatan penggumpalan-pengentalan ke atas air sisa akuakultur menggunakan alum dan ferik klorida telah dijalankan. Jadual 3.0 menunjukkan perbezaan kekeruhan air sisa akuakultur menggunakan alum dan ferik klorida.

Jadual 3.0 Perbezaan kekeruhan air sisa akuakultur alum dan ferik klorida

Dos (mg/l)	Kekeruhan alum (NTU)	Kekeruhan ferik klorida (NTU)
Air mentah	137	155
0	113	132
20	41	36
40	20	25
60	16	20
90	11	17
120	11	13

Keberkesanan kedua-dua penggumpal hampir sama. Keberkesanan penggumpal biasanya dipengaruhi dengan beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhi seperti masa pengadukan, pH, dan masa pemendakan. Berdasarkan pembacaan sebelum ini, maksimum penyikiran kekeruhan pada dos 60 mg/l atau lebih untuk kedua-duanya

Jadual 4.0 menunjukkan penggumpal-pengental yang berbeza dan prestasi yang berbeza dalam proses pengentalan-penggumpalan. Setiap penggumpal asli menunjukkan prestasi yang berbeza. Jika dibandingkan penggumpal asli dalam merawat air sisa, biji roselle menunjukkan keberkesanan dalam merawat air sisa tetapi jika dibandingkan penggumpal asli dan penggumpal lazim. Alum lebih berkesan dalam merawat kekeruhan air sisa. Tetapi penggunaan penggumpal lazim tidak bagus untuk kesihatan dalam jangka masa yang lama. Oleh itu, pengkaji telah membuat kajian dengan menggunakan penggumpal asli untuk menggantikan penggumpal lazim. Tetapi penggumpal asli hanya boleh dihasilkan dengan skala yang kecil berbanding penggumpal lazim.

Jadual 4.0 Pengental-penggumpal yang berbeza dan prestasi yang berbeza dalam proses pengentalan pengumplan

Jenis penggumpal	Penggumpal yang digunakan	Air sisa buangan	Prestasi kaedah rawatan
Asli	Kitosan	Industri tekstil	Pengurangan COD: 94.90% Kekeruhan: 72.50%
Asli	Biji roselle	Industri pembuatan sarung tangan	Pengurangan Kekeruhan: 87.18
Asli	Moringa Oleifera	Penyamakan kulit	Pengurangan COD: 37.80% Kekeruhan: 59.43%
Asli	Aloe Vera	Penyamakan kulit	Pengurangan COD: 52.6% Kekeruhan: 46.72%
Asli	Kaktus	Penyamakan kulit	Pengurangan COD: 59.30% Kekeruhan: 51.50%
Lazim	Alum	Industri akuakultur	Pengurangan Kekeruhan: 88.32%
Lazim	Ferik Klorida	Industri akuakultur	Pengurangan Kekeruhan: 87.10%

## 5. Kesimpulan

Pengentalan-penggumpalan salah satu proses yang penting dalam merawat air sisa tidak kira air sisa daripada kediaman, industri atau agrokultur. Air sisa yang dihasilkan dan untuk dilepaskan mestilah mengikut piawaian yang telah ditetapkan. Dalam kajian ini, tinjauan literatur telah dilakukan untuk kajian-kajian berkaitan yang lepas. Di bahagian pertama, teknologi rawatan yang digunakan untuk merawat air sisa telah dikenalpasti seperti fitoremediasi, bioremediasi dan kaedah fizikal. Setiap rawatan ini mempunyai prestasi yang tersendiri. Seterusnya, jenis-jenis pengental-penggumpal dalam merawat efluen akukultur telah ditentukan, iaitu penggumpal lazim dan penggumpal asli. Penggumpal lazim iaitu penggumpal daripada bahan yang sintetik seperti Alum, ferik klorida, kapur dan polimer. Penggumpal asli pula diekstrak daripada tumbuhan, haiwan dan mikroorganisma. Akhir sekali, keberkesanan pengental dan penggumpal lazim dan asli telah dibandingkan mengikut prestasi masing-masing. Jika dibandingkan antara penggumpal asli, biji roselle menunjukkan prestasi yang baik dalam mengurangkan kekeruhan dan untuk penggumpal lazim pula, alum telah menunjukkan prestasi yang baik.

## 6. Penghargaan

Setinggi penghargaan diberikan kepada Kementerian Pengajian Tinggi melalui *Long Term Research Grant Scheme* (LRGS/1/2018/USM/01/1/1)(LRGS/2018/USM-UKM/EWS/01) di atas pembiayaan projek kajian ini.

## 7. Rujukan

- [1] S.A. Castine, A. D. Mckinnon, N. A. Paul, L. A. Trott, De, N. Rocky. Wastewater treatment for land- based aquaculture: improvements and value-adding alternatives in model systems from Australia Aquaculture Environment Interaction. Vol. 4, No. 3, 285-300, 2013.
- [2] S. E. Goudreau, R. J. Neves, R. J. Sheehan RJ. Effects of wastewater treatment plant effluents on freshwater mollusks in the upper Clinch River. *Hydrobiologia*. Vol. 252, 211-230, 1993.
- [3] I. F. Omotade, M. O. Alatise, O.O. Olanrewaju. Recycling of aquaculture wastewater using charcoal based constructed wetlands. *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 21, No. 1, 1-6, 2019.
- [4] A. Al-mamun, A. T. A. Basir. White popinac as potential phyto-coagulant to reduce turbidity of river water. *Journal of Engineering and Applied Science*. Vol. 11, No. 11, 7180-7183, 2016.
- [5] B. O., Omitoyin, E. K. Ajani, O. I. Okeleye, B. U. Akpollih, A. A. Ogunjobi. Biological Treatments of Fish Farm Effluent and its Reuse in the Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Journal of Aquaculture Research & Development*, Vol. 8, No. 2, 2-9, 2017.
- [6] C. Fersi, A. B. Gamra, H. Bozrati, C. Gorgi, A. Irmani. Characterizing the performance of coagulation-flocculation using natural coagulants as pretreatment of tannery wastewater, *Journal of Materials and Environmental Science*, Vol. 9, No. 8, 2379-2386., 2020.
- [7] S. V.M. Prasad, H. Ramamohan, B. S. Rao. Assessment of

- Coagulation Potential of Three Different Natural Coagulants in Water Treatment. *International Journal of Innovative Research in Science*, Vol. 4, No. 6, 7-9, 2017.
- [8] V. Kumar, N. Othman, S. Asharuddin. Applications of Natural Coagulants to Treat Wastewater – A Review–2017; 103:9
  - [9] L. P. Naval. Reuse alternatives for effluents from the fish processing industry through multi-criteria analysis *Journal of Cleaner Production*, Vol. 227, 336-345, 2019.
  - [10] M. Dehghani, M. H. Alizadeh. The effects of the natural coagulant *Moringa oleifera* and alum in wastewater treatment at the Bandar Abbas Oil Refinery. *Kerman University of Medical Sciences. Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 2, No. 4, 225-230, 2016.
  - [11] Q. Fontenot, C. Bonvillain, M. Kilgen, R. Boopathy. Effects of temperature, salinity, and carbon nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater *Bioresource Technology*, Vol. 98, No. 9, 1700-1703, 2017.
  - [12] K. G. Akpomie, F. K. Ojo, T. M. Akpomie, M. A. Abuh. Coagulation-Flocculation process of *Citropsis articulata* seed powders as natural coagulant for textile effluent, *Learnado Electronic Journal of Practices and Technologies*, Vol. 32, 271-284, 2018.
  - [13] L. Muruganandam, M. P. S. Kumar, A. Jena, S. Gulla, B. Godhwani. Treatment of wastewater by coagulation and flocculation using biomaterials. *Materials Science Engineering*, Vol. 263, 1-11, 2017.
  - [14] E. N. Ali, S. A. Muyibi, H. M. Salleh, M. R. M. Salleh. *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant for water treatment. *Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 2009 Hurgada Egypt*. p.163-168.
  - [15] B. Bina, M. H. Mehdinejad, G. Dalhammer, G. Rajarao. Effectiveness of *moringa oleifera* coagulant protein as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters. *International Journal of Environmental Engineering*, Vol. 4, No. 7, 261-263, 2010.
  - [16] S. Haghiri, A. Daghighi, S. Moharramzadeh. Optimum coagulant forecasting by modeling jar test experiments using ANNs. *Drink, Water, Science and Engineering Journal*, Vol. 1, No. 1, 1-8, 2018.
  - [17] B. S. Marina, J. M. Prodanovi. Extracts of fava bean (*Vicia faba* L.) seeds as natural coagulants, *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 84, 229-232, 2015.