

ALTERNATIF KOAGULAN ALAMI SEBAGAI PENGGANTI ATAU PEMBANTU ALUMINIUM SULFAT PADA PROSES PENGOLAHAN AIR MINUM

Ahmad Fatih Andiwijaya

Abstrak

Proses pengolahan air minum konvensional umumnya melibatkan proses koagulasi, flokulasi, pengendapan, penyaringan dan desinfeksi. Penggunaan bahan kimia anorganik sebagai koagulan seperti aluminium sulfat disinyalir telah membawa dampak kesehatan yang serius seperti penyakit Alzheimer, Parkinson dan penyakit syaraf lainnya. Bahan kimia koagulan lainnya berbasis polimer organik seperti akrilamida juga ditengarai menjadi penyebab kanker dan racun syaraf. Oleh karena itu makalah ini akan mengulas beberapa alternatif pengganti koagulan aluminium sulfat yang berasal dari bahan-bahan alami yang ramah lingkungan dan mudah terdegradasi secara alamiah. Beberapa bahan tersebut menunjukkan aktifitas koagulasi yang setara atau lebih baik dibanding aluminium sulfat untuk menurunkan turbiditas sampai dengan 200 NTU. Penggunaan bahan-bahan alami tersebut diharapkan dapat menggantikan koagulan sintetik atau membantu koagulasi pada proses pengolahan air minum konvensional sehingga dapat menghilangkan atau mengurangi dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh penggunaan koagulan berbasis bahan kimia, dapat menekan biaya produksi dan tetap menjaga kualitas air minum sesuai standar kesehatan yang ditetapkan oleh WHO.

Kata kunci: koagulan alami, koagulasi, turbiditas, pengolahan air minum

1. Pendahuluan

Dalam pengolahan air, baik untuk keperluan domestik dan industri, beberapa teknologi yang umum digunakan antara lain koagulasi flokulasi, sedimentasi, filtrasi (media filter, membran, cartridge filter), adsorpsi, dan pertukaran ion (ion-exchange). Koagulasi merupakan teknologi konvensional yang umum digunakan pada pengolahan air, terutama pada tahap awal. Beberapa makalah ilmiah telah menyebutkan bahwa penggunaan koagulan sintetik untuk proses pengolahan air minum konvensional tidak sepenuhnya aman bagi kesehatan. Jenis koagulan sintetik yang digunakan pada proses pengolahan air dapat berupa bahan anorganik maupun bahan organik. Koagulan anorganik yang umum digunakan diantaranya adalah Aluminium Sulfat (alum), Poli Aluminium Klorida (PAC), dan besi klorida. Sedangkan koagulan organik umumnya berupa polimer sintetik seperti turunan poliakrilamida dan polietilen imina.

Penggunaan aluminium untuk pengolahan air minum diduga dapat menimbulkan masalah kesehatan syaraf seperti penyakit alzheimer, parkinson dan penyakit syaraf lainnya. Peneliti lain juga menyebutkan aluminium berbahaya bagi kesehatan karena tidak dapat dihilangkan sepenuhnya sehingga masih meninggalkan sisa residu pada sampel air minum. Penggunaan polimer organik seperti akrilamida juga dilaporkan mempunyai sifat neurotoksik dan dapat menyebabkan kanker. Penggunaan ion logam besi sebagai koagulan seperti besi klorida juga belum sepenuhnya diketahui bahayanya bagi manusia.

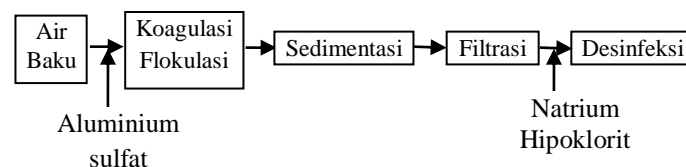
Di samping berbahaya bagi kesehatan, penggunaan koagulan kimia seperti aluminium sulfat dilaporkan menyumbang sebagian besar biaya bahan kimia yang kontribusinya mencapai 70% sehingga berkontribusi menaikkan biaya produksi air minum.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari alternatif pengganti koagulan sintetik dengan memanfaatkan bahan-bahan alami yang ramah lingkungan dan biodegradable. Pada makalah ini akan dibahas beberapa alternatif koagulan

alami untuk menggantikan koagulan aluminium sulfat yang berbahaya bagi kesehatan, atau dapat juga sebagai pembantu koagulan untuk mengurangi dosis penggunaannya pada proses pengolahan air minum konvensional.

2. Pengolahan Air Minum Konvensional

Proses pengolahan air minum konvensional umumnya terdiri dari koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan desinfeksi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Air baku dari sungai atau air sumur diolah pada unit koagulasi flokulasi dengan penambahan Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) untuk menurunkan kekeruhan atau turbiditas, kemudian flok yang terbentuk diendapkan lalu disaring dengan saringan pasir dan ditambahkan desinfektan menggunakan bahan kimia misalnya Natrium Hipoklorit ($NaOCl$), gas klorin (Cl_2) dan ozon (O_3) untuk membunuh bakteri dan mikroorganisme dalam air.



Gambar 1. Proses pengolahan air minum konvensional

Pengolahan air minum konvensional umumnya menggunakan air baku sungai yang kondisinya memiliki tingkat kekeruhan / turbiditas yang masih tinggi sehingga memerlukan pengolahan terlebih dahulu dengan cara koagulasi misalnya dengan penambahan aluminium sulfat (alum). Kekeruhan air dihitung menggunakan satuan $mg/L SiO_2$ NTU (Nephelometric Turbidity Unit), sifat ini menyebabkan cahaya yang melalui air yang keruh akan terabsorpsi atau terbiaskan.

Air yang keruh memiliki bilangan NTU yang tinggi, sedangkan air yang jernih memiliki bilangan NTU yang rendah atau bahkan NOL. Tingkat kekeruhan air bermacam-macam, misalnya air keran toilet memiliki turbiditas 4-5 NTU, air

sungai 38-39 NTU dan air tadah hujan 78-82 NTU [8]. Kekeruhan air baku yang berasal dari sungai sangat tergantung pada musim, misalnya pada musim hujan turbiditas air sungai Cimanuk di kabupaten Indramayu, Jawa Barat dapat mencapai 12000 NTU, sedangkan pada hari biasanya berada di kisaran 2000 NTU [9]. Tingginya turbiditas air tungai disebabkan karena pengaruh lumpur yang mengendap akibat banyaknya material yang terbawa saat musim hujan, erosi di bantaran sungai dan lumpur yang berasal dari hulu sungai.

WHO menentukan standar turbiditas air minum tidak lebih dari 5 NTU [10]. Secara visual perbedaan tingkat kekeruhan air ditunjukkan pada Gambar 2. Penentuan tingkat kekeruhan arau turbiditas dapat menggunakan metode jar test.



Gambar 2. Standar turbiditas 5, 50 dan 500 NTU (Wikipedia, Turbidity Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbidity>, diakses 28-10-2016)

3. Metode Jar Test

Penentuan turbiditas air dapat menggunakan metode Jar Test sesuai standar praktis ASTM D 2035. Prosedur tersebut menjelaskan standar umum untuk mengurangi partikel-partikel yang terlarut, tersuspensi, koloid dan bahan-bahan yang tidak terendapkan dalam air menggunakan koagulasi kimiawi yang diikuti dengan pengendapan secara gravitasi. Peralatan yang digunakan pada metode jar test berupa pengaduk (stirrer), Jar (beaker glass) dan bahan kimia sebagai koagulan.

Bahan kimia yang ditambahkan pada metode jar test dapat berupa koagulan utama maupun dengan penambahan pembantu koagulan melalui pencampuran. Pembantu koagulan memiliki kemampuan membentuk flok yang besar, kuat dan mudah terendapkan jika digunakan bersama koagulan utama.

Jenis-jenis koagulan utama yang sering dipakai pada proses koagulasi antara lain:

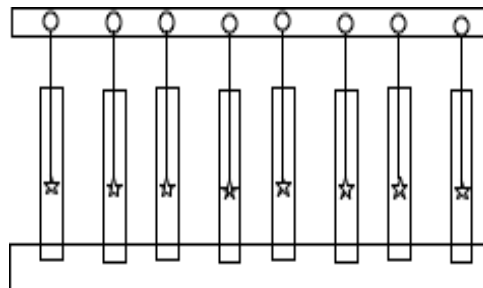
- Aluminium Sulfat / Alum [$Al_2(SO_4)_2 \cdot 18H_2O$]
- Ferric sulfate [$Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$]
- Ferric chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)
- Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Magnesium carbonate ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$)
- Sodium aluminate ($NaAlO_2$)

Sedangkan pembantu koagulan yang biasa ditambahkan pada koagulan utama antara lain:

- Activated silica
- Anionic (polyelectrolyte)
- Cationic (polyelectrolyte)
- Nonionic Polymer

Prosedur jar test dilakukan dengan menyiapkan sampel air keruh 1000 mL ke dalam beaker glass 1500 mL. Kemudian diambil sampel 10 ml yang dimasukkan ke dalam rak reagen yang dilengkapi dengan pengaduk seperti pada gambar 3.

Tambahkan koagulan utama pada sampel dengan dosis tertentu, kemudian dilakukan pengadukan cepat 150 rpm selama 1 menit, lalu dilanjutkan dengan pengadukan lambat selama 20 menit dengan cara mengurangi kecepatan pengadukan secara bertahap setiap 5 menit sehingga terbentuk flok berukuran besar. Sampel kemudian diteruskan dengan pengendapan selama 15 menit, kemudian sampel dapat dianalisa lebih lanjut misalnya pengukuran pH, warna, turbiditas dan analisa lainnya.



Gambar 3. Rak koagulasi flokulasi dengan pengaduk (<https://www.scribd.com/doc/139504356/>).

Menurut penelitian, beberapa bahan-bahan alami yang ramah lingkungan dan biodegradable yang berawal dari kearifan lokal dan sudah dikenal sejak lama dapat digunakan untuk menjernihkan air diantaranya seperti Moringa Oleifera, Strychnos Potatorum, Cassia Angustifolia, Prosopis Juliflora, Cactus Latifaria dan beberapa spesies polong-polongan telah banyak diteliti untuk menurunkan tingkat kekeruhan air baku maupun air keruh sintetik. Bahan alami tersebut umumnya diambil sebagai serbuk biji kering atau ekstrak protein terlarut. Beberapa bahan tersebut dapat digunakan untuk mengolah air keruh dengan turbiditas 200 NTU dan menunjukkan aktifitas koagulasi yang setara atau lebih baik dari aluminium sulfat.

4. Moringa Oleifera

Moringa Oleifera sering disebut juga pohon stik drum, surjana, lobak pedas atau pohon ben oil adalah spesies asli dari kaki pegunungan Himalaya di India bagian barat laut yang mempunyai sifat tahan terhadap kekeringan dan dapat tumbuh dengan cepat. Tanaman ini umumnya banyak dibudidayakan di daerah tropis maupun sub tropis sebagai sayuran terutama pada bagian polong yang masih muda dan daunnya. Bentuk tanaman Moringa Oleifera dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Moringa Oleifera polong muda, polong tua, bagian biji dan kernel (biji yang dikupas) (www.earthexpocompany.co.in)

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biji Moringa Oleifera dapat digunakan untuk menggantikan Aluminium Sulfat (tawas/alum) sebagai koagulan pada proses pengolahan air konvensional. Aho dkk. (2012) menggunakan biji kernel Moringa Oleifera yang sudah tua kemudian dihaluskan menjadi serbuk untuk pengolahan air sumur bor dan air permukaan di Nigeria. Serbuk biji kernel yang ditambahkan pada sampel dengan konsentrasi 120.000-130.000 mg/L setelah didiamkan selama 2 jam dapat menurunkan kekeruhan dari 88-520 NTU menjadi 0-3 NTU sesuai standar WHO untuk kualitas kekeruhan air minum. Eman dkk. (2010) menggunakan serbuk biji kernel Moringa Oleifera untuk mengolah air sungai yang ada di Malasia. Biji kernel kering dihaluskan dan disaring pada saringan 25 µm kemudian kandungan minyak dan garamnya dihilangkan dengan pelarut Heksana dan NaCl. Pada konsentrasi 0,4 mg/L serbuk biji kernel Moringa Oleifera dapat menurunkan kekeruhan air sampel sungai sampai 96,23% dengan tingkat kekeruhan awal 34-36 NTU.

Serbuk biji kernel yang diambil dari polong tua yang matang dan kering di pohon yang berwarna coklat memiliki sifat koagulasi yang baik [16]. Polong muda Moringa Oleifera yang berwarna hijau sama sekali tidak memiliki aktifitas koagulasi. Aktifitas koagulasi dari Moringa Oleifera dikarenakan biji yang sudah tua mengandung protein rantai pendek yang mudah larut dalam air dan bermuatan positif yang akan menarik molekul-molekul bermuatan negatif seperti tanah liat, lumpur hasil metabolisme bakteri dan partikel-partikel beracun lainnya.

Moringa Oleifera sangat berpotensi sebagai koagulan pada proses pengolahan air minum konvensional untuk menggantikan Aluminium Sulfat karena sifatnya yang tidak berbahaya, tidak beracun, biodegradable dan memiliki aktifitas koagulasi yang tinggi. Biji Moringa Oleifera yang sudah dikupas dari kulitnya (kernel) memiliki dosis optimal yang hampir sama dengan alum (50 mg/L) untuk mengolah air dengan tingkat kekeruhan rendah. Jika diekstrak dalam bentuk protein murni kemampuan koagulasinya lebih efektif dibandingkan dengan alum. Selain itu biji Moringa Oleifera memiliki beberapa keunggulan yaitu tidak mempengaruhi pH dan konduktifitas secara signifikan pasca pengolahan, lumpur hasil koagulasinya tidak berbahaya dan volume lumpur yang dihasilkan lima kali lebih sedikit daripada pengolahan dengan alum.

5. Strychnos Potatorum

Strychnos Potatorum disebut juga pohon nirmali dalam bahasa hindi atau pohon *Clearing Nut* dalam bahasa Inggris. Tanaman ini dapat tumbuh sampai 7 meter. Bagian bijinya banyak digunakan di India sebagai obat herbal untuk penyakit diabetes. Tanaman Strychnos Potatorum dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Strychnos Potatorum bagian biji dan kernel (biji yang dikupas) (www.brahmayurved.com; www.indiamart.com)

Raghuwanshi dkk. (2002) membandingkan biji Surjana, Nirmali dan jagung sebagai pembantu koagulan Aluminium Sulfat pada air keruh sintesis dari lempung alam. Biji tersebut dikeringkan, dihaluskan dan disaring menggunakan kain nilon (ukuran lubang 212 µm). Penggunaan biji nirmali dan jagung sebagai pembantu koagulan dapat menekan dosis alum sampai 25 mg/L dan 15 mg/L dengan tingkat kekeruhan pasca pengolahan 0,2 NTU dibandingkan dengan alum sendiri yang mencapai 45 mg/L.

Nirmala Rani dan Jadhav (2012) menggunakan biji kering Strychnos Potatorum yang sudah dihaluskan dan disaring pada saringan 150 µm untuk menjernihkan air keruh sintesis yang terbuat dari kaolin sebagai pengganti alum [22]. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa biji kering Strychnos Potatorum dapat menurunkan turbiditas dari 14 NTU menjadi 0 NTU setelah pengendapan 30 menit.

Beberapa literature menyebutkan biji Strychnos Potatorum mengandung poli elektrolit yang bermuatan negatif (anion) dengan gugus aktif berupa karboksil (COO⁻) dan hidroksil (OH⁻), protein, alkaloid, karbohidrat dan lemak. Kandungan lainnya dari biji Strychnos Potatorum juga mengandung *strychnine* yang diduga berperan penting dalam proses koagulasi.

6. Cassia Angustifolia

Cassia Angustifolia disebut juga Senna Alexandria, Sanay (India), Senna (Arab) atau jati cina (Indonesia) merupakan tanaman tropis asli dari Afrika yang juga ditemukan tumbuh di India, umumnya banyak dibudidayakan di Mesir, Sudan, India dan Pakistan sebagai obat herbal dan bedak kecantikan. Tanaman ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Cassia Angustifolia atau Senna Alexandria (en.wikipedia.org; id.wikipedia.org)

Sanghi dkk. (2002), menyarankan getah biji tanaman *Cassia Angustifolia* bagus untuk menggantikan koagulan PAC (Poly Aluminium Chloride) atau digunakan bersama PAC dengan dosis yang sangat rendah untuk menghilangkan zat warna *Acid Sendula* merah dan *Direct Kahi* hijau pada larutan pewarna sintetis [29]. Farhaoui dan Derraz (2016), berpendapat bahwa tanaman *Cassia Angustifolia* mungkin juga dapat digunakan sebagai bahan koagulasi untuk pengolahan air minum konvensional.

7. *Cactus Latifaria*

Diaz dkk. (1999), menggunakan *Cactus Latifaria* sebagai koagulan untuk menghilangkan kekeruhan pada pengolahan air minum dari air baku sintetis yang terbuat dari kaolin dapat menurunkan turbiditas dari 50-100 NTU menjadi dibawah 10 NTU dengan dosis optimum 10-20 mg/l. Pada dosis tersebut kemampuan koagulasi *Cactus Latifaria* lebih baik dibanding aluminium sulfat. Penambahan dosis yang lebih tinggi sampai 200 mg/l tidak memperbaiki kualitas kekeruhan sampel air sintetis [30]. Spesies lainnya dari bangsa kaktus yang bisa digunakan sebagai koagulan dengan aktifitas koagulasi yang baik adalah *Cactus opuntia*.

8. *Prosopis Juliflora*

Prosopis Juliflora disebut juga *Senna Alexandria*, *Sanay* (India), *Senna* (Arab) atau *jati cina* (Indonesia) merupakan tanaman tropis asli dari Afrika juga ditemukan tumbuh India, umumnya banyak dibudidayakan di Mesir, Sudan, India dan Pakistan sebagai obat herbal dan bedak kecantikan. Diaz dkk. (1999) menambahkan *Prosopis Juliflora* pada sampel air sintetis yang terbuat dari kaolin dapat menurunkan kekeruhan dari 30 NTU menjadi dibawah 5 NTU pada dosis optimum 20-40 mg/l [30]. Kemampuan koagulasi *Prosopis Juliflora* dapat dikatakan sebanding dengan *Moringa Oleifera* dan aluminium sulfat, namun diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mencoba kemampuan koagulasinya untuk sampel air sungai atau air sumur.

Diaz dkk. (1999) juga mempelajari pengaruh pH terhadap kemampuan koagulasi *Prosopis Juliflora* sampel sintetis dengan tingkat kekeruhan awal 200 NTU. Pada pH netral atau sedikit basa diatas pH 10 menunjukkan kekeruhan sampel dapat diturunkan dibawah 5 NTU dengan menambahkan *Prosopis Juliflora* pada dosis 20-80 mg/l. Hasil yang diperoleh Diaz sangat menarik untuk penelitian lebih lanjut karena pada dosis 20 mg/l kemampuan koagulasi *Prosopis Juliflora* sebanding atau sedikit lebih baik dibanding pada dosis 80 mg/l dan lebih tahan terhadap variasi pH air sampel.

9. *Aesculus Hippocastanum*

Aesculus Hippocastanum disebut juga dengan pohon kastanye atau pohon berangan (Indonesia) atau chesnut (Inggris). Beberapa spesies chesnut seperti *Aesculus Hippocastanum* atau *Horse Chesnut* pada bagian bijinya

memiliki kemampuan koagulasi alami. Bentuk pohon, bunga dan biji tanaman *Aesculus Hippocastanum* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. *Aesculus Hippocastanum* bagian pohon, bunga dan biji (en.wikipedia.org; www.southernwoods.co.nz)

Sciban dkk. (2009) melakukan percobaan dengan mengambil ekstrak *Aesculus Hippocastanum* dengan cara menghaluskan bijinya sampai ukuran 0.4 mm kemudian ditambahkan air suling atau larutan NaCl sampai konsentrasi 50 g/L dan diaduk selama 10 menit sehingga membentuk suspensi. Selanjutnya suspensi disaring dengan kertas saring dan larutannya diambil sebagai ekstrak kasar. Penambahan 0.5 ml/L ekstrak kasar *Aesculus Hippocastanum* pada sampel air keruh sintetis pada pH 10 dengan kekeruhan awal 17.5-30 NTU menunjukkan aktifitas koagulasi sampai 70-80%. Penambahan dosis ekstrak yang lebih tinggi tidak mempengaruhi aktifitas koagulasi *Aesculus Hippocastanum*. Hasil penelitian Sciban menunjukkan aktifitas koagulasi *Aesculus Hippocastanum* dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan awal dan pH sampel air.

10. Spesies Polong-polongan

Beberapa spesies polong-polongan seperti *Phaseolus vulgaris*, *Robinia pseudoacacia*, *Ceratonia siliqua* dan *Amorpha fruticosa* mempunyai aktifitas koagulasi yang cukup baik untuk mengolah air dengan tingkat kekeruhan rendah.

Sciban dkk. (2005) meneliti hasil ekstraksi beberapa spesies polong-polongan untuk menghilangkan kekeruhan sampel air keruh sintetis dari kaolin. Biji polong-polongan diambil dari polongnya yang kering dihaluskan kemudian diekstrak menggunakan air suling pada konsentrasi 10 g/L dan diaduk. Suspensinya kemudian disaring dengan kertas saring dan larutannya diambil sebagai ekstrak kasar polong-polongan.

Ekstrak tersebut kemudian ditambahkan ke dalam sampel air keruh pada dosis 0.5-3 ml/L atau setara dengan 5-30 mg/L biji polong kering.

Hasil penelitian Sciban tersebut menunjukkan ekstrak biji polong-polongan dari spesies *Ceratonia Siliqua* efektif untuk menurunkan kekeruhan air keruh sintesis pada turbiditas 17.5 NTU dengan aktifitas koagulasi 100% pada dosis 20 mg/L biji polong kering. Efektifitas koagulasi ekstrak biji polong-polongan juga dipengaruhi oleh pH. Pada pH diatas 10 dan dosis koagulan 30 mg/L menunjukkan aktifitas koagulasi mendekati 100% untuk menangani air dengan turbiditas 30 NTU.

11. Kesimpulan

Beberapa alternatif koagulan alami untuk proses pengolahan air minum konvensional telah disampaikan. Bahan-bahan tersebut dapat digunakan sebagai pengganti atau pembantu koagulan sintesis aluminium sulfat untuk mengolah turbiditas menengah sampai 200 NTU dan memenuhi standar kualitas air minum.

Daftar Pustaka

- [1] Martyn, C. N., D. J. P. Barker, C. Osmond, E. C. Harris, J. A. Edwardson and R. F. Lacey: Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water. *The Lancet* **1** (1989) 59 – 62.
- [2] Letterman, R.D. and R.W. Pero: Contaminants in polyelectrolytes used in water treatment. *J. Am. Wat. Wks. Assoc.* **82** (1990) 87-97
- [3] Miller, R. G., F. C. Kopfler. K. C. Kelty, J. A. Stober and N. S. Ulmer: The occurrence of aluminium in drinking water. *J. Am. Wat. Wks. Assoc.* **76**, **1** (1984) 94 – 101
- [4] Letterman, R.D. and C.T. Driscoll: Survey of residual aluminium in filtered water. *J. Am. Wat. Wks. Assoc.* **80** (1988) 154-158
- [5] Mallevialle, J., A. Brichet and F. Fiessinger: How safe are organic polymers in water treatment. *J. Am. Wat. Wks. Assoc.* **76** (1984) 87-93
- [6] Farhaoui, Mohamed, and Derraz, Mustapha., Review on Optimization of Drinking Water Treatment Process. *Journal of Water Resource and Protection*, **8**, 08 (2016), 777.
- [7] Scribd, Standar Kualitas Air Minum, Available: <https://www.scribd.com/doc/55977543/Standar-Kualitas-Air-Minum>, diakses 29-10-2016
- [8] Blogspot, Pengenalan Alat & Analisa Tingkat Kekeruhan Air dengan Turbidimeter, Available: <http://btagallery.blogspot.co.id/2010/05/pengenalan-alat-analisa-tingkat.html>, diakses 2-12-2012
- [9] Pikiran Rakyat, Air Bersih Berkurang di Kab. Indramayu, Available: <http://www.pikiran-rakyat.com/jawabarat/2015/02/12/316000/air-bersih-berkurang-di-kab-indramayu>, diakses 2-12-2012
- [10] Khoiruddin, K., Hakim, A. N., & Wenten, I. G. (2014). Advances in electrodeionization technology for ionic separation-A review. *Membrane Water Treatment*, **5**(2), 87-108.
- [11] Aryanti, P. T. P., Yustiana, R., Purnama, R. E. D., & Wenten, I. G. (2015). Performance and characterization of PEG400 modified PVC ultrafiltration membrane. *Membrane Water Treatment*, **6**(5) 379-392
- [12] Wardani, A. K., Hakim, A. N., Khoiruddin & Wenten, I. G. (2017). Combined ultrafiltration-electrodeionization technique for production of high purity water. *Water Science and Technology*, **75**(12): 2891-2899.
- [13] Wenten, I. G., Khoiruddin, K., Hakim, A. N., & Himma, N. F. (2017). The Bubble Gas Transport Method. *Membrane Characterization*, 199.
- [14] Sianipar, M., Kim, S. H., Iskandar, F., & Wenten, I. G. (2017). Functionalized carbon nanotube (CNT) membrane: progress and challenges. *RSC Advances*, **7**(81), 51175-51198
- [15] Aryanti, P. T. P., Sianipar, M., Zunita, M., & Wenten, I. G. (2017). Modified membrane with antibacterial properties. *Membrane Water Treatment*, **8**(5), 463-481
- [16] Wikipedia, Turbidity Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbidity>, diakses 28-10-2016
- [17] Scribd, Coagulation Flocculation Jar Test of Water ASTM D2035, Available: <https://www.scribd.com/doc/139504356/Coagulation-Flocculation-Jar-Test-of-Water-ASTM-D2035>, diakses 2-12-2012
- [18] Wikipedia, Moringa Oleifera Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Moringa_oleifera, diakses 20-10-2016
- [19] Raghuvanshi, P.K., Mandloi, M., Sharma, A.J., Malviya, H.S. and Chaudhari, S., Improving Filtrate Quality Using Agrobased Materials as Coagulant Aids. *Water Quality Research*, **37** (2002), 745-756.
- [20] Earth Expo Company, Moringa Products Available: <http://www.earthexpocompany.co.in/moringa-products.html>, diakses 20-10-2016
- [21] Aho, I.M. and Lagasi, J.E., A New Water Treatment System Using Moringa oleifera Seed. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, **3** (2012), 487-492.
- [22] Eman, N.A., Suleyman, A.M., Hamzah, M.S., Zahangir, Md.A. and Salleh, M.R.M., Production of Natural Coagulant from Moringa oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal of Water Resource and Protection*, **2** (2010) , 259-266.
- [23] Ndabigengesere, A., Narasiah K.S., and Talbot B.G., Active agents and mechanism of coagulant of turbid waters using Moringa oleifera. *Water Research*, **29.2** (1995), 703–710.
- [24] Eilert, U., Antibiotic Principles of Seeds of Moringa oleifera. *Indian Medical Journal* **38**.235 (1978), 1013 – 1016.
- [25] Indiamart, Nirmali seed Available: <http://www.indiamart.com/muthaiwalatraders/indian-herbs.html#nirmali-seed>, diakses 27-10-2016.
- [26] Nirmala Rani, C. and Jadhav, M.V. Enhancing Filtrate Quality of Turbid Water Incorporating Seeds of *Strychnos potatorum*, Pads of Cactus *Opuntia* and Mucilage Extracted from the Fruits of *Coccinia indica* as Coagulants. *Journal of Environmental Research and Development*, **7** (2012), 668-674

- [27] Tripathi P.N, Chaudhuri M. and Bokil S.D., Nirmali seed – A naturally occurring coagulant, *Ind. J. Enviro. Heal.* 18.1 (1976), 272-280.
- [28] Jayaram K. Murthy I.Y.L.N., Lalhruiatluanga H. and Prasad M.N.V, Biosorption of lead from aqueous solution by seed powder of *Strychnos potatorum* L, *Elsevier*, 71.1 (2009), 248-254.
- [29] Chaudhuri M., Tripathi P. and Bokil S.D., Nirmali S., *Potatorum* seed – A natural coagulant,. *Int. Sem.use Nat. Coagul. Wat. Treat.*, Yogyakarta,10-20 (1989), Indonesia, for Decolourisation of Dye Solutions. *Green Chemistry*, 4 (2002), 252-254.
- [30] Diaz, A., Rincon, N., Escorihuela, A., Fernandez, N., Chacin, E. and Forster, C.F., A Preliminary Evaluation of Turbidity Removal by Natural Coagulants Indigenous to Venezuela. *Process Biochemistry*, 35 (1999), 391-
- [31] Wikipedia, *Aesculus Hippocastanum*https://en.wikipedia.org/wiki/Aesculus_hippocastanum, diakses 28-10-2016
- [32] Southernwoods, *Aesculus Hippocastanum* Available: <https://www.southernwoods.co.nz/shop/aesculus-hippocastanum/>, diakses 28-10-2016
- [33] Šciban, M., Klačnja, M., Antov, M. and Škrbic, B., Removal of Water Turbidity by Natural Coagulants Obtained from Chestnut and Acorn. *Bioresource Technology*, 100 (2009), 6639-6643
- [34] Šciban, M., Klačnja, M. and Stojimirovic, J., Investigation of Coagulation Activity of Natural Coagulants from Seeds of Different Leguminose Species. *Acta Periodica Technologica*, 36 (2005), 81-87