

**SINTESIS FLOKULAN DARI PATI SAGU DAN AKRILAMIDA MENGGUNAKAN
MICROWAVE INITIATED TECHNIQUE UNTUK APLIKASI PENURUNAN KADAR PADATAN
TERSUSPENSI DALAM AIR**

**MICROWAVE INITIATED SYNTHESIS OF FLOCCULANTS BASED ON MODIFIED SAGO STARCH
FOR THE TREATMENT OF SUSPENDED SOLID IN WATER**

Slamet Purwanto^{1)*}, Erliza Hambali^{1,2)}, dan Suprihatin²⁾

¹⁾Pusat Penelitian Surfaktan dan Bionergi (SBRC), IPB
Kampus IPB Baranangsiang Jl. Pajajaran No. 1 Bogor, Jawa Barat 16144, Indonesia
E-mail: slamet.purwanto@gmail.com

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

ABSTRACT

Sago starch base of polymeric flocculants could be synthesized by grafting copolymerization of polyacrylamide (PAM) branches on modified polysaccharide (carboxymethyl starch, CMS) backbone by using microwave irradiations ('microwave initiated' synthesis). This research was aimed to identify the best process conditions for synthesizing of flocculants made of sago starch base and to identify the flocculants performance on reducing suspended solids contained in water. According to the test result of several properties of flocculant named carboxymethylstarch-grafted-polyacrylamide (CMS-g-PAM) such as the product's conversion rate, grafting ratio, grafting efficiency and flocculation performance (removal efficiency of tested parameters: Total Suspended Solid or TSS, turbidity and color) then it could concluded that the best conditions of copolymerization reaction was using 100 ml of acrylamide 50% and and 3 minutes of microwave irradiations. Flocculants CMS-g-PAM yielded by the best process conditions could reduce TSS 7.5 mg/l to 2.5 mg/l (66.67%), turbidity 8.5 FTU to 2 FTU (76.47%) and color 40.5 PtCo unit to 11 PtCo unit (72.84%).

Keywords: sago starch, graft copolymerization, microwave initiated synthesis, polyacrylamide, flocculants

ABSTRAK

Nanoserat selulosa telah diisolasi dari ampas tapioka dengan tujuan untuk mempelajari sifat fisik Flokulan hibrid yang merupakan gabungan antara polimer alami seperti pati sagu (*backbone*) dan polimer sintesis seperti akrilamida (cangkok) dapat disintesis melalui reaksi kopolimerisasi pencangkokan dengan menggunakan iradiasi gelombang mikro. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses sintesis terbaik dengan perlakuan konsentrasi akrilamida dan waktu reaksi kopolimerisasi menggunakan teknik *initiated microwave synthesis* dan mendapatkan informasi kinerja flokulan yang dihasilkan untuk penurunan kadar padatan tersuspensi dalam air. Berdasarkan hasil pengujian pada perolehan produk, nisbah pencangkokan dan efisiensi pencangkokan diketahui bahwa kondisi kopolimerisasi terbaik untuk menghasilkan kopolimer cangkok (flokulan) adalah menggunakan 100 ml akrilamida 50% (setara dengan 50 g atau 0,70 mol) dan waktu reaksi kopolimerisasi 3 menit. Flokulan terbaik yang dihasilkan mampu menurunkan TSS 7,5 mg/l menjadi 2,5 mg/l, kekeruhan 8,5 FTU menjadi 2 FTU dan warna 40,5 unit PtCo menjadi 11 unit PtCo. Dengan kata lain efisiensi penyisihan flokulan terbaik dalam menurunkan TSS, kekeruhan dan warna secara berurutan adalah 66,67%, 76,47% dan 72,84%.

Kata kunci: pati sagu, akrilamida, kopolimerisasi pencangkokan, iradiasi gelombang mikro, flokulan

PENDAHULUAN

Pemisahan padatan tersuspensi dari cairan merupakan tahapan penting dalam proses pemurnian air. Padatan ditengarai merupakan kontaminan utama yang terdapat di dalam air (Mishra *et al.*, 2012). Padatan tersebut menjadi tempat tumbuhnya mikroorganisme, menyebabkan kekeruhan dan warna air, menghalangi penetrasi cahaya matahari ke dalam air yang pada akhirnya mengganggu keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Padatan tersuspensi tersebut dapat dipisahkan dari air atau sistem cairannya dengan cara menambahkan bahan koagulasi (prosesnya disebut dengan

koagulasi) atau flokulan (prosesnya disebut dengan flokulasi). Koagulan difungsikan untuk mendestabilisasi muatan padatan tersuspensi sehingga padatan menjadi lebih mudah dipisahkan dari cairan, sedangkan flokulan difungsikan untuk membentuk flok berukuran lebih besar yang tersusun atas beberapa padatan tersuspensi tunggal sehingga padatan tersuspensi tersebut dapat dipisahkan dari cairan.

Penggunaan flokulan lebih disukai daripada koagulan pada proses pemurnian air. Hal tersebut disebabkan oleh kinerja koagulan yang sangat dipengaruhi oleh pH dan digunakan dalam jumlah cukup banyak. Berbeda dengan koagulan, kinerja

flokulan cenderung lebih stabil terhadap pengaruh pH dan digunakan dalam jumlah yang lebih sedikit (Pal *et al.*, 2012). Flokulan umumnya merupakan senyawa polimer dan larutannya disebut dengan larutan polielektrolit (Indriyati, 2008).

Ada dua jenis flokulan berdasarkan bahan dasar pembuatannya, yaitu flokulan sintesis dan flokulan alami. Flokulan sintesis seperti *polyacrylamide* (PAM) memiliki karakteristik sulit terurai secara biologi (*nonbiodegradable*), membentuk flok yang sifatnya rapuh (*fragile*) dan tidak tahan terhadap gaya geser (*low shear stability*), memiliki umur simpan yang lebih panjang (*long shelf life*) dan penggunaan dalam jumlah yang sedikit sedangkan flokulan alami seperti polisakarida memiliki karakteristik penggunaan dalam jumlah yang lebih banyak, memiliki umur simpan yang lebih pendek (*shorter shelf life*), lebih mudah terurai secara biologi (*biodegradable*) dan membentuk flok yang kekar dan tahan terhadap pengaruh gaya geser (*high shear stability*) (Yang *et al.*, 2012; Mishra *et al.*, 2012).

Salah satu polimer alami yang potensial di Indonesia untuk dikembangkan menjadi flokulan adalah pati sagu (*Metroxylon sago* Rottb.). Menurut data yang dihimpun oleh Jong dan Widjono (2007), kebutuhan total pati bagi industri di seluruh dunia adalah sekitar 50 juta ton per tahun dengan laju pertumbuhan 7,7% per tahun. Lebih dari 50% potensi sagu dunia ada di Indonesia, dan sekitar 90% potensi sagu Indonesia ada di Papua, termasuk Papua Barat. Negara lain penghasil sagu selain Indonesia adalah Malaysia (20%) dan Papua Nugini (20%). Menurut Ishizaki (1996), tanaman sagu memiliki produktivitas menghasilkan pati yang tertinggi (25 ton/ha/tahun) jika dibandingkan dengan tanaman lain seperti padi (6 ton/ha/tahun), jagung (5,5 ton/ha/tahun), gandum (5 ton/ha/tahun), kentang (2,5 ton/ha/tahun) dan ubi kayu (1,5 ton/ha/tahun). Sampai dengan saat ini, sebagian besar pati sagu di Indonesia masih dimanfaatkan untuk kebutuhan pangan. Pemanfaatan sagu menjadi bahan flokulan diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah pati sagu dan diversitas produk turunan pati sagu.

Setiap jenis pati memiliki sifat fisiko kimia yang berbeda-beda. Menurut Purwaningsih (2012), perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan varietas tanaman penghasil pati, lokasi penanaman (cuaca dan tanah), dan perlakuan atau perawatan tanaman. Pati sagu memiliki suhu gelatinisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati lain seperti pati jagung, pati beras pati ubi kayu dan pati terigu (Cecil *et al.*, 1982). Butiran pati sagu berbentuk oval dengan diameter 20-60 mm.

Flokulan dari bahan polimer alami dan sintesis tersebut dapat digabungkan menjadi satu kopolimer baru (hibrid) yang memiliki sifat unggul yang merupakan gabungan sifat senyawa penyusunnya (Gupta, 2010). Polimer hibrid sangat diminati belakangan ini karena aplikasinya yang luas

(Sen *et al.*, 2009 dan Sen *et al.*, 2011). Salah satu cara untuk menghasilkan polimer (flokulan) hibrid adalah dengan teknik kopolimerisasi pencangkokan (*graft copolymerization*) menggunakan iradiasi gelombang mikro (*microwave initiated technique*). Gelombang mikro digolongkan ke dalam gelombang elektromagnetik. Dibandingkan dengan gelombang radio, gelombang mikro memiliki panjang gelombang lebih pendek dan frekuensi yang lebih tinggi. Hal tersebut akan menyebabkan efektifitas penyebaran untuk reaksi kopolimerisasi yang lebih baik. Menurut Sen *et al.* (2009), gelombang mikro yang dipancarkan oleh oven *microwave* mampu memanaskan bahan di dalam oven secara spontan dan merata.

Teknik kopolimerisasi menggunakan iradiasi gelombang mikro memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik kopolimerisasi lain (*conventional redox grafting method*, *γ-ray irradiation* dan *electron beam*.) dalam hal menghasilkan kopolimer cangkok berkualitas tinggi, tidak memerlukan inisiator kimiawi, tidak memerlukan kondisi inert pada saat reaksi, mudah dioperasikan secara elektronik, waktu reaksi cepat dan sifatnya yang *highly reproducible* (Sen *et al.*, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi kopolimerisasi cangkok dengan iradiasi gelombang mikro adalah konsentrasi monomer, lama reaksi di dalam oven *microwave* dan daya (*power*) oven *microwave* yang digunakan pada saat reaksi.

Dalam penelitian ini digunakan pati sagu termodifikasi *carboxymethyl starch* (CMS). Modifikasi pati sagu menggunakan metode substitusi gugus hidroksil dengan natrium kloroasetat diharapkan menghalangi terjadinya asosiasi atau ikatan antar sesama molekul pati dan meningkatkan kelarutan pati pada saat reaksi kopolimerisasi (Shagar *et al.*, 2012). Poliakrilamida telah lama digunakan sebagai bahan flokulan sintesis. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan monomer akrilamida. Teli dan Waghmare (2009) menyebutkan bahwa akrilamida merupakan jenis monomer yang banyak digunakan pada proses kopolimerisasi selain asam akrilat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses sintesis terbaik (jumlah akrilamida dan waktu reaksi) untuk menghasilkan flokulan dari pati sagu dan akrilamida menggunakan *microwave initiated technique* dan mendapatkan informasi kinerja flokulan yang dihasilkan untuk penurunan kadar padatan tersuspensi dalam air.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati sagu yang merupakan polimer alami dan akrilamida yang merupakan bahan sintesis. Pati sagu diperoleh dari pengrajin sagu di daerah Ciluar, Bogor – Jawa Barat,

sedangkan akrilamida diperoleh dari PT Tridomain Chemicals, Cilegon Banten. Bahan lain yang digunakan adalah akuades, natrium hidroksida (NaOH p.a E-Merck), metanol (CH₃OH), etanol (C₂H₅OH), asam klorida (HCl), natrium kloroasetat untuk sintesis (C₂H₂ClNaO₂), hidrokuinon, aseton dan bahan kimia lainnya untuk analisis.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, *hotplate* yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*), termometer, *stop watch*, sudip, filter 100 mesh, filter 500 mesh, oven *microwave* Panasonic model NN-ST340M, alat pengering (oven), seperangkat alat untuk uji Kjeldahl, instrumen spektrofotometer inframerah transformasi Fourier (FTIR) Bruker tensor 37 dengan 32 scan, pH meter, erlenmeyer, labu ukur, gelas piala 1000 ml, gelas piala 500 mL, pipet 10 mL, pipet 25 mL, corong gelas, gelas arloji dan alat gelas lainnya. Untuk menguji kinerja flokulasi polimer hasil dari proses kopolimerisasi digunakan *Jar Test Apparatus* dan spektrofotometer Hach DR 2000.

Metode

Analisis Sifat Fisiko Kimia Pati Sagu

Pati sagu dikeringkan pada suhu 50°C selama 24 jam, didinginkan pada suhu ruang dan disaring dengan penyaring 100 *mesh*. Pati sagu tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui sifat fisiko kimianya secara proksimat berdasar SNI yang meliputi penentuan kadar air (SNI 3729:2008), kadar abu (SNI 3729:2008), kadar protein (SNI 01-2891-1992), kadar lemak (SNI 01-2891-1992), kadar serat (SNI 01-2891-1992), kadar karbohidrat (*by difference*), kadar pati (SNI 3729:2008), kadar amilosa (SNI 6128:2008) dan kadar amilopektin (*by difference*).

Sintesis Carboxy Methyl Starch (CMS)

Carboxy Methyl Starch (CMS) berbahan dasar pati sagu disintesis dengan merujuk pada

metode sintesis yang dilakukan oleh Goyal *et al.* (2007) dan Ghosh *et al.* (2011). Pati sagu 48,6 gram (setara dengan 0,3 mol) ditambahkan C₂H₂ClNaO₂ 10,48 g (setara dengan 0,09 mol) dan 100 mL larutan NaOH bermetanol (6 g NaOH [setara dengan 0,15 mol NaOH] dilarutkan di dalam 100 ml metanol). Jumlah mol pati sagu tersebut dihitung berdasar pada satuan *Anhydro Glucose Unit* (AGU). Sebagai catatan bahwa satu mol AGU pati setara dengan 162 gram pati (Ghosh *et al.*, 2011). CMS kering ditimbang, dihancurkan, disaring dengan penyaring 500 mesh dan digunakan pada proses kopolimerisasi.

Sintesis Kopolimer Cangkok atau Flokulan CMS-g-PAM Menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro

Sintesis CMS-g-PAM dilakukan dengan merujuk pada metode Sen *et al.* (2009). Sejumlah 5 g CMS (setara dengan 0,03 mol, berdasar 1 mol AGU CMS = 162 g mol⁻¹) ditimbang dan dimasukkan ke dalam gelas piala 1000 ml. Selanjutnya sejumlah aquades dan akrilamida ditambahkan ke dalam gelas piala tersebut. Aquades ditambahkan hingga volume totalnya 250 ml. Campuran tersebut kemudian diaduk selama 30 menit pada kecepatan 300 rpm. Setelah 30 menit pengadukan, batang pengaduk (*magnetic stirrer bar*) dikeluarkan dan gelas piala ditutup dengan *aluminium foil* dan dimasukkan ke dalam oven *microwave* untuk dilanjutkan dengan reaksi kopolimerisasi.

Iradiasi *microwave* dijalankan pada kekuatan maksimum selama rentang waktu reaksi yang diinginkan. Pada penelitian ini digunakan *microwave* dengan daya 800 Watt dan waktu reaksi di atur pada rentang 1 hingga 5 menit. Kombinasi perlakuan jumlah akrilamida dan waktu reaksi secara lebih lengkap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor perlakuan jumlah akrilamida dan waktu reaksi pada reaksi kopolimerisasi dengan gelombang mikro pada bobot CMS 5 g

| Kode Perlakuan | Volume Akrilamida* 50% (mL) | Waktu Reaksi (menit) |
|----------------|-----------------------------|----------------------|
| A1B1 | 50 | 1 |
| A1B2 | 50 | 3 |
| A1B3 | 50 | 5 |
| A2B1 | 50 | 1 |
| A2B2 | 50 | 3 |
| A2B3 | 50 | 5 |
| A3B1 | 100 | 1 |
| A3B2 | 100 | 3 |
| A3B3 | 150 | 5 |

Iradiasi *microwave* di hentikan sejenak (*pause*) secara berkala dan campuran didinginkan dengan cara menempatkan di dalam wada berisi air dingin. Saat dikeluarkan dari oven temperatur campuran diukur dan dicatat suhunya berkisar antara 68-70°C. Setelah mencapai waktu reaksi yang diinginkan, kemudian campuran didinginkan dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu larutan hidrokuinon 10% b/v (10 g hidrokuinon per 100 mL aquades) ditambahkan dan diaduk secara perlahan selama 5 menit. Kemudian larutan didiamkan selama 30 menit dan dibiarkan mengalami presipitasi. Fasa cair di bagian atas diambil dan disisihkan. Kemudian ke dalam fasa padatan ditambahkan aseton berlebih dan selanjutnya disaring dengan filter 500 mesh. Padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 50 °C selama 12 jam. Setelah kering, kopolimer ditimbang, dihancurkan menjadi ukuran serbuk menggunakan mortar dan disaring dengan saringan 100 mesh. Selanjutnya produk dianalisis dan diuji kinerjanya sebagai flokulan.

Analisis Sifat Fisiko Kimia Flokulan CMS-g-PAM

Analisis Gugus Fungsi dengan Teknik Spektroskopi FTIR

Identifikasi gugus fungsi pada pati sagu sebagai bahan awal, CMS, dan kopolimer cangkok CMS-g-PAM dilakukan dengan menggunakan FTIR Bruker tensor 37 dilakukan pada bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹. sejumlah tertentu KBr ditambahkan ke dalam sampel dan dioleskan secara merata pada preparat sehingga membentuk lapisan tipis. Lapisan tersebut dapat ditembus oleh sinar. Sebelumnya alat FTIR dinyalakan dan dibiarkan selama beberapa saat terlebih dahulu. Langkah awal yang dilakukan saat analisis adalah mencari spektrum dari udara/pelarut yang akan difungsikan sebagai *background*. Setelah mendapatkan *background* kemudian data *background* disimpan sebagai acuan. Kemudian preparat yang telah diolesi sampel dimasukkan ke dalam *sample holder* pada alat FTIR. Selanjutnya alat FTIR dioperasikan sampai didapatkan spektrum dari sampel tersebut.

Pengukuran Perolehan Produk Setelah Reaksi Kopolimerisasi

Perolehan produk didefinisikan sebagai perbandingan antara produk yang diperoleh (output) dengan bahan awal (input) setelah melalui proses reaksi tertentu. Perolehan produk kopolimer cangkok dihitung berdasar bobot dan dinyatakan dalam persentase. Perhitungan perolehan produk dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\text{Perolehan produk (\%)} = \frac{\text{bobot akhir}}{\text{bobot awal}} \times 100\%$$

Analisis Nisbah Pencangkakan (GR) dan Efisiensi Pencangkakan (GE) CMS-g-PAM

Nisbah pencangkakan atau *Grafting Ratio* (GR) dan efisiensi pencangkakan atau *Grafting Efficiency* (GE) dapat diketahui dengan menentukan kadar Nitrogen (N) dari CMS-g-PAM yang dihasilkan dari reaksi kopolimerisasi. Analisis kedua parameter tersebut dilakukan dengan menggunakan metode Hashem *et al.* (2005) dan Mostafa *et al.* (2007). Kadar N dihitung dengan uji N Kjeldahl. Kadar N yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam rumus perhitungan GR dan GE berikut:

$$\text{GR (\%)} = \frac{100 \times \left[\text{N(\%)} \times \left(\frac{\text{BM Akrilamid}}{\text{BA Nitrogen}} \right) \right]}{100 - \left[\text{N(\%)} \times \left(\frac{\text{BM Akrilamid}}{\text{BA Nitrogen}} \right) \right]} \times 100\%$$

$$\text{GE (\%)} = \frac{\text{GR}}{\% \text{ monomer terhadap pati}} \times 100\%$$

Keterangan:

- N : nitrogen
- BA : bobot atom (g/mol)
- BM : bobot molekul (g/mol)
- GR : nisbah pencangkakan
- GE : efisiensi pencangkakan (%).

Uji Kinerja Flokulasi Kopolimer Cangkok CMS-g-PAM

Untuk mengetahui kinerja kopolimer cangkok CMS-g-PAM pada proses flokulasi, maka bahan tersebut diujikan pada air sungai. Pada penelitian ini digunakan air sungai Ciliwung yang sampelnya diambil pada hari Selasa, 27 November 2012 pada jam 09.00-10.00 WIB. Titik pengambilan sampel adalah di daerah Sempur Bogor, Jawa Barat.

Pengujian dilakukan dengan merujuk pada prosedur SNI 19-6449-2000 (BSN, 2010) tentang Metode Pengujian dengan Cara Jar dan juga merujuk pada metode yang dilakukan oleh Sen *et al.* (2011). Pengujian dilakukan pada konsentrasi flokulan yang sama yaitu 9 ppm. Sejumlah 50 ml cairan supernatan diambil dari bagian atas gelas piala dan dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer Hach DR 2000 yang meliputi kadar padatan tersuspensi total atau *Total Suspended Solid* (TSS) (metode No 630), kekeruhan (metode No 750), dan warna (metode No 120).

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan dua faktor perlakuan dengan dua kali ulangan. Faktor perlakuan yang digunakan adalah jumlah akrilamida 50% (A) dengan 3 taraf yaitu 50 mL (setara dengan 0,35 mol (25 g)); 100 mL (setara dengan 0,70 mol (50 g)) dan 150 mL (setara dengan 1,055 mol (75 g)) dan waktu reaksi kopolimerisasi (B) dengan 3 taraf yaitu 1, 3 dan 5 menit. Hubungan antara faktor perlakuan terhadap faktor respon diuji dengan

analisis ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur atau BNJ (*Tukey's Test*) (Aunudin, 2005). Model rancangan percobaan ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan:

- Y_{ij} : faktor respon (perolehan produk, nisbah pencangkakan, efisiensi pencangkakan) dengan jumlah akrilamida ke-i dan waktu reaksi ke-j dengan $i = 50, 100, 150$ mL dan $j = 1$ menit, 3 menit, 5 menit, μ adalah rata-rata umum
- A_i : pengaruh jumlah akrilamida ke-i pada faktor respon
- B_j : pengaruh waktu reaksi ke-j pada faktor respon
- $(AB)_{ij}$: pengaruh interaksi jumlah akrilamida ke-i dan waktu reaksi ke-j pada faktor respon
- ε_{ij} : galat percobaan akibat dari jumlah akrilamida ke-i dan waktu reaksi ke-j

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Sifat Fisiko Kimia Pati Sagu

Pati sagu merupakan biopolimer yang banyak tersedia di Indonesia. Pati sagu yang diperoleh dari Ciluar Bogor dikeringkan di dalam oven dan disaring dengan saringan 100 mesh. Penyaringan tersebut dilakukan untuk memisahkan pengotor seperti serat (ela sagu) yang terikat dan gumpalan sagu yang berukuran besar. Penyaringan sagu juga berguna untuk mendapatkan ukuran pati yang lebih seragam. Pati sagu yang telah disaring tersebut selanjutnya diuji kandungannya secara proksimat yang hasilnya diperlihatkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 tersebut terlihat bahwa lebih dari 90% pati sagu tersusun atas karbohidrat dan dari hasil pengujian diketahui bahwa 67,48%-nya merupakan zat pati dengan sepertiga-nya (15,42%) merupakan amilosa dan sisanya (52,06%) merupakan amilopektin. Jika dibandingkan dengan

syarat yang ditetapkan dalam SNI 3729:2008 maka kadar pati tersebut lebih tinggi sekitar 2%. Pati tersebut mengandung amilosa 22,85% dan amilopektin 77,15%. Komposisi amilosa dan amilopektin tersebut memperkuat pendapat Pomeranz (1991) yang mengatakan bahwa perbandingan amilosa dan amilopektin adalah 1:3. Yuliasih (2008) menyebutkan bahwa pati sagu di Jawa Barat memiliki kadar amilosa 26,19% dan amilopektin 73,82%.

Kadar air pati sagu berkaitan dengan sifat hidrofilik. Sifat tersebut disebabkan oleh keberadaan tiga gugus hidroksil yang terdapat pada tiap unit monosakarida (monomer) penyusunnya. Monomer pada pati berikatan secara heliks dan beberapa gugus hidroksilnya berada di bagian luar dari ikatan heliks tersebut sehingga pati bersifat hidrofilik. Hal tersebut berbeda dengan ikatan heliks pada gugus hidrokarbon dimana gugus hidroksilnya berada di bagian dalam ikatan heliks sehingga hidrokarbon bersifat hidrofobik. Karena sifat hidrofiliknya tersebut maka pati mempunyai kecenderungan untuk menyerap air, meskipun air dari udara, sehingga mempengaruhi kadar air dalam pati. Jumlah air yang terkandung dalam pati sagu adalah sekitar 6% dan elemen lain seperti protein, lemak serat dan abu berjumlah sekitar 2%. Kadar air dalam pati sagu bervariasi. Variasi kadar air tersebut dipengaruhi oleh lokasi tanaman sumber pati, tekanan air di udara dan kelembaban relatif (% Rh).

Hasil Analisis Fisiko Kimia CMS-g-PAM

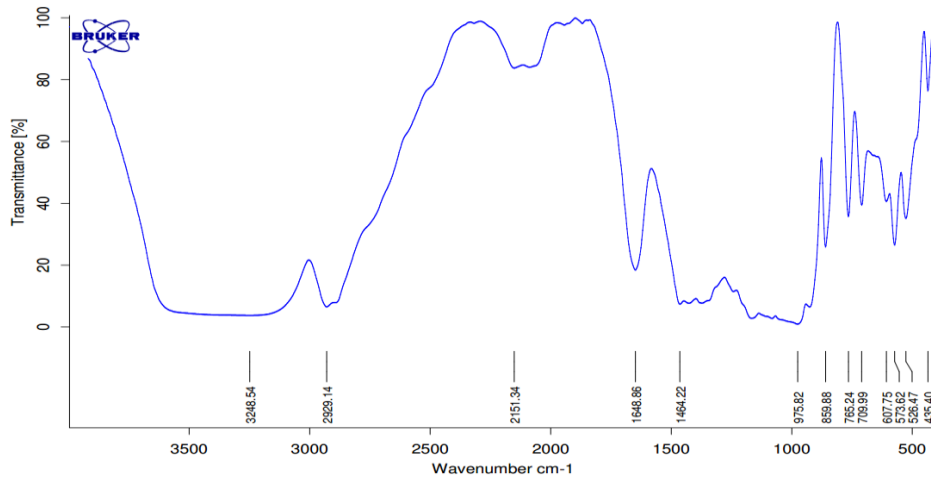
Hasil Analisis Gugus Fungsi dengan Teknik Spektroskopi FTIR

Analisis spektroskopi FTIR berguna untuk mengetahui ciri struktural senyawa kimia pada sampel dan mendeteksi perubahan gugus fungsi akibat reaksi kimia. Analisis gugus fungsi dengan teknik spektrofotometri FTIR dilakukan pada sampel pati sagu, CMS, dan CMS-g-PAM yang spektrumnya secara berurutan ditunjukkan oleh Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3. Dengan mengamati dan membandingkan spektrum sampel tersebut maka dapat disimpulkan apakah suatu reaksi berhasil dilakukan.

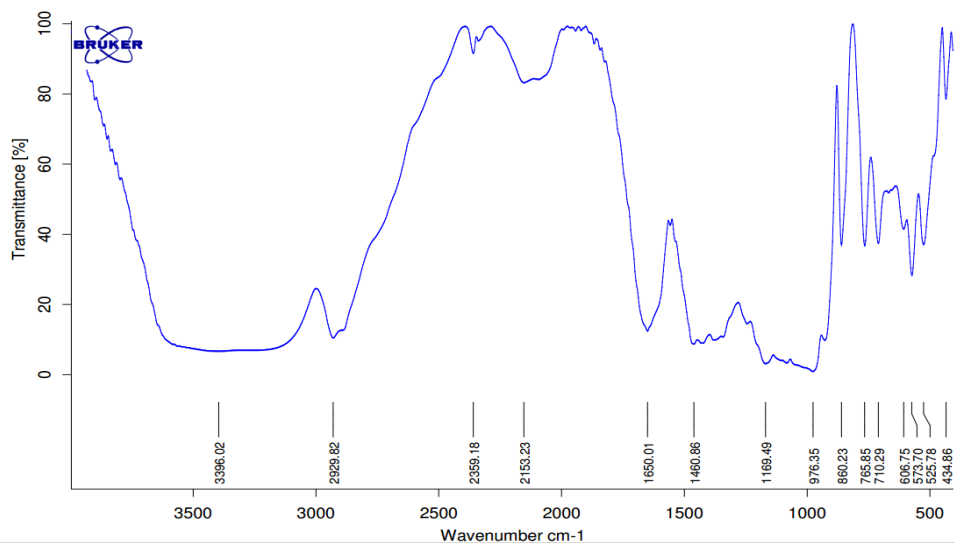
Tabel 2. Hasil analisis proksimat pati sagu

| No | Komponen | Satuan | Hasil Uji | Metode | Pembanding |
|----|-------------------|--------|-----------|----------------------|------------------------|
| 1 | Kadar air | % | 5,93 | SNI 3729:2008 | maks. 13 ¹ |
| 2 | Kadar abu | % | 0,02 | SNI 3729:2008 | maks. 0,5 ¹ |
| 3 | Kadar protein | % | 1,05 | SNI 01-3555-1998 | 0,63 ² |
| 4 | Kadar lemak | % | 0,97 | SNI 01-3555-1998 | 0,33 ² |
| 5 | Kadar serat | % | 0,15 | SNI 01-3555-1998 | maks 0,5 ¹ |
| 6 | Kadar karbohidrat | % | 91,88 | <i>by difference</i> | |

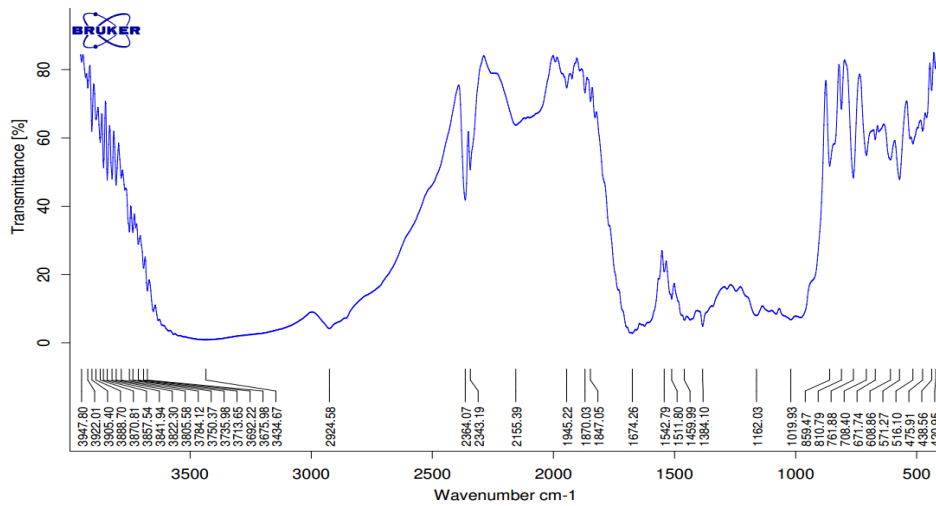
Sumber: 1) SNI 3729:2008 (BSN, 2008), 2) Arbakariya *et al.* (1990)



Gambar 1. Spektrum FTIR pati sagu pada bilangan gelombang 400 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹



Gambar 2. Spektrum FTIR CMS pada bilangan gelombang 400 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹



Gambar 3. Spektrum FTIR CMS-g-PAM pada bilangan gelombang 400 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹

Spektrum inframerah pati sagu (Gambar 1) dicirikan dengan serapan vibrasi ulur -OH pada bilangan gelombang 3550-3200 cm^{-1} , serapan vibrasi ulur C-H pada bilangan gelombang 2929 cm^{-1} , dan serapan vibrasi ulur C=O pada bilangan gelombang 1648 cm^{-1} . Menurut Creswell *et al.* (2005), pita serapan tajam pada daerah bilangan gelombang 1648 cm^{-1} tersebut berasal dari glukosa penyusun pati. Ikatan tunggal karbon oksigen (C-O) terjadi pada area sidik jari yaitu pada bilangan gelombang 1300-1000 cm^{-1} . Ikatan yang mungkin terjadi pada bilangan gelombang tersebut adalah ikatan glikosida (C-O-C) antar gugus amilosa maupun amilopektin dan ikatan C-O-H pada rantai piranosil.

Spektrum inframerah CMS tidak banyak berbeda dengan spektrum inframerah pati sagu. Sedikit perubahan terjadi pada bilangan gelombang 2359 cm^{-1} yang menunjukkan ikatan rangkap tiga dan bilangan gelombang 1760-1690 cm^{-1} yang menunjukkan serapan vibrasi ulur C=O. Serapan ulur C=O tersebut diduga berasal dari penambahan natrium kloroasetat. Reaksi karboksimetilasi yang dilakukan pada pati sagu tidak banyak merubah struktur pati sagu. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh tidak terbukanya struktur heliks amilosa dan amilopektin atau dengan kata lain proses gelatinisasi terjadi secara parsial. Gelatinisasi adalah proses terjadinya kerusakan pada struktur granula pati yang teratur secara fisik dan bersifat endotermis. Menurut Cecil *et al.* (1982) suhu gelatinisasi pati sagu adalah 72-74°C dan suhu tersebut sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu reaksi karboksimetilasi pada penelitian ini yang berkisar 68-70°C. Syamsir *et al.* (2012) menyebutkan bahwa granula pati yang menyerap energi panas dengan panas dibawah suhu gelatinisasi akan menyebabkan pembukaan lipatan heliks ganda amilosa dan amilopektin.

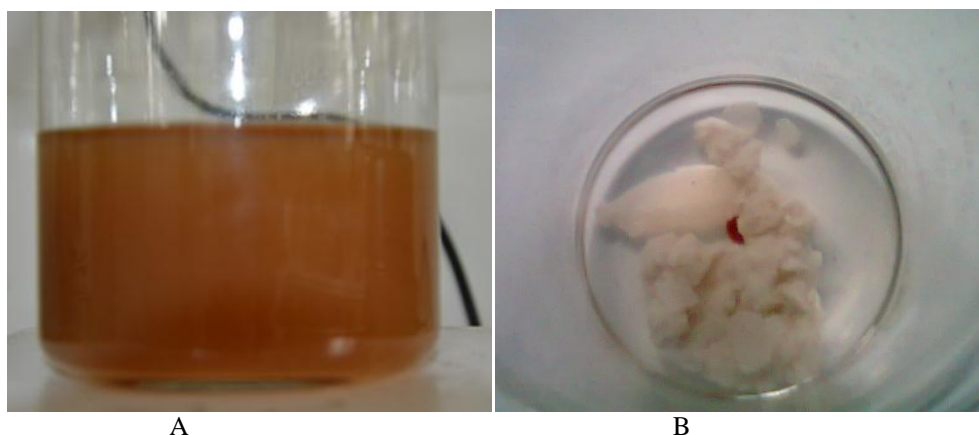
Spektrum inframerah CMS-g-PAM menunjukkan penajaman puncak pada bilangan gelombang 2361 cm^{-1} . Serapan pada bilangan

gelombang 3500-3300 cm^{-1} (ikatan N-H) atau serapan pada bilangan gelombang 1360-1180 cm^{-1} (ikatan C-N) (Skoog *et al.*, 1998) yang diharapkan tidak terlihat. Serapan pada dua bilangan gelombang tersebut menunjukkan adanya ikatan amina atau amida. Namun demikian, terjadi serapan vibrasi ulur amida (ikatan C-N dan ikatan N-H) pada bilangan gelombang 1650-1590 cm^{-1} (Mistry, 2009).

Hasil Pengukuran Perolehan Produk setelah Reaksi Kopolimerisasi

Reaksi kopolimerisasi pencangkakan antara CMS dengan akrilamida diharapkan menghasilkan CMS-g-PAM yang merupakan bentuk kopolimer cangkak. Selain produk CMS-g-PAM tersebut, juga dihasilkan produk lain seperti homopolimer poliakrilamida. Di dalam penelitian ini, homopolimer tersebut telah dipisahkan dengan cara pencucian dan presipitasi menggunakan aseton. Silvianita *et al.* (2004) menyebutkan bahwa homopolimer atau polimer-polimer berantai pendek akan tercuci dengan aseton. Di dalam penelitian ini, produk yang diharapkan adalah polimer cangkak berantai panjang. Ekstraksi pelarut menggunakan campuran formamid dan asam asetat dengan perbandingan 1:1 seperti yang dilakukan Sen *et al.* (2009) diduga akan meningkatkan kemurnian produk. Setelah aseton ditambahkan ke dalam gelas piala, terjadi penggumpalan fasa padatan membentuk senyawa seperti gel padat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Penapisan menggunakan saringan 500 mesh dilakukan untuk memisahkan fasa padatan dan cairan tersebut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5A dan produk kering diperlihatkan pada Gambar 5B.

Pati sagu termodifikasi CMS sejumlah 5 g yang digunakan dalam reaksi kopolimerisasi terkonversi menjadi produk padatan dengan bobot rata-rata 4,76 g. Dengan kata lain persentase konversi CMS menjadi CMS-g-PAM adalah 95,17%.



Gambar 4. Larutan CMS yang telah mengalami kopolimerisasi dan terminasi dengan hidrokuinon (A) dan gel padat yang terbentuk karena penambahan aseton (B)



Gambar 5. Penapisan produk hasil kopolimerisasi (A) dan produk kering (B)

Dari beberapa perlakuan jumlah akrilamida yang digunakan dan waktu reaksi kopolimerisasi di dapatkan perolehan produk padatan CMS-g-PAM yang terendah adalah 4,64 g dan tertinggi 4,99 g. Persentase konversi tertinggi tersebut dihasilkan dari kombinasi perlakuan 100 ml akrilamida 50% (setara dengan 50 g atau 0,70 mol) dan waktu reaksi kopolimerisasi 3 menit. Dengan demikian, kondisi proses terbaik untuk mendapatkan perolehan produk yang tertinggi adalah dengan kombinasi perlakuan 100 mL akrilamida 50% dan waktu reaksi kopolimerisasi 3 menit.

Hubungan antara jumlah akrilamida dan waktu reaksi kopolimerisasi terhadap perolehan produk digambarkan dengan histogram pada Gambar 6. Terlihat bahwa rataan persentase perolehan produk berada di atas 90%. Peningkatan waktu reaksi tidak mengindikasikan peningkatan perolehan produk secara signifikan. Meningkatnya waktu reaksi kopolimerisasi juga tidak menunjukkan peningkatan persentase perolehan produk secara signifikan.

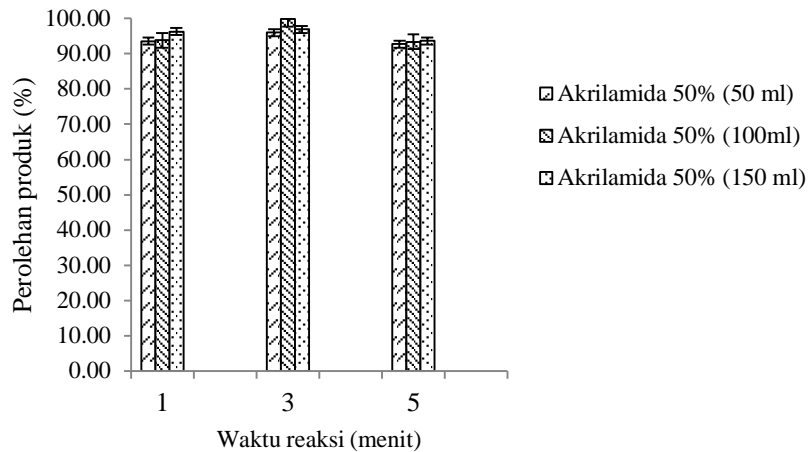
Hasil analisis ragam (*Analysis of Variance*, ANOVA) perolehan produk pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa secara statistik jumlah akrilamida, waktu reaksi kopolimerisasi dan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap perolehan produk yang dihasilkan. Pengaruh perlakuan yang tidak nyata tersebut kemungkinan disebabkan oleh jumlah CMS yang terlalu kecil jika dibandingkan dengan jumlah akrilamida dan produk masih mengandung homopolimer dan monomer cukup banyak meskipun sudah dicuci dan dipresipitasi dengan aseton. Homopolimer terbentuk karena adanya kompetisi di antara radikal-radikal akrilamida untuk bereaksi radikal CMS atau radikal akrilamida. Jika radikal akrilamida bereaksi dengan radikal CMS maka akan terbentuk kopolimer, tetapi jika bereaksi dengan radikal akrilamida maka akan terbentuk homopolimer (Kurniadi, 2010).

Hasil Analisis Nisbah Pencangkakan dan Efisiensi Pencangkakan

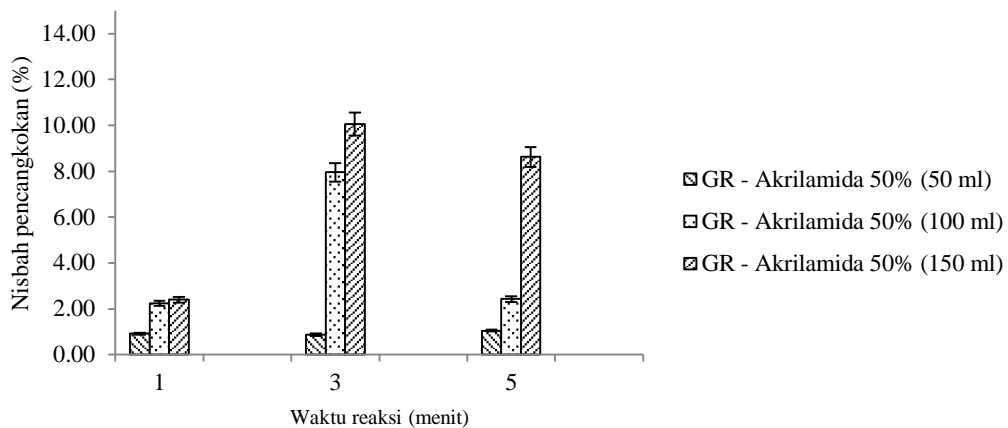
Nisbah pencangkakan (*Grafting Ratio*, GR) menunjukkan perbandingan antara jumlah kopolimer (produk) yang mengandung cangkakan monomer (akrilamida) dengan jumlah bahan awal yang tidak mengandung akrilamida. Jumlah monomer akrilamida tercangkok dihitung sebagai kadar nitrogen (N). Efisiensi pencangkakan (*Grafting Efficiency*, GE) adalah perbandingan antara nilai GR dengan dengan persentase monomer terhadap polimer *backbone*. Kadar nitrogen produk hasil kopolimerisasi memiliki rataan 0,75% dengan kadar nitrogen terendah adalah 0,17% dan kadar nitrogen tertinggi adalah 1,80%.

Kadar nitrogen berkorelasi positif dengan nilai GR karena belum ada koreksi dari persentase monomer akrilamida terhadap CMS. Artinya adalah semakin tinggi kadar nitrogen yang terdapat pada produk maka semakin tinggi nilai GR produk tersebut. Hasil pengukuran nilai GR menunjukkan bahwa rataan nilai GR adalah 4,06% dengan nilai terendah 0,87% dan nilai tertinggi 10,06%. Histogram yang menunjukkan perubahan nilai GR karena pengaruh jumlah akrilamida dan waktu reaksi kopolimerisasi dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil analisis ragam nilai GR pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa secara statistik jumlah akrilamida, waktu reaksi kopolimerisasi dan interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap nilai GR. Hasil uji perbandingan berpasangan dengan metode beda nyata jujur (BNJ) menunjukkan bahwa secara statistik setiap taraf perlakuan jumlah akrilamida dan taraf perlakuan waktu reaksi berbeda nyata pengaruhnya terhadap perubahan nilai GR. Namun perlu diingat bahwa nilai GR belum dikoreksi oleh jumlah monomer akrilamida yang digunakan. Dengan demikian, membahas nilai GE akan lebih bermakna jika dibandingkan dengan nilai GR karena nilai GE telah dikoreksi oleh persentase monomer akrilamida terhadap CMS.



Gambar 6. Histogram yang menunjukkan hubungan antara perolehan produk CMS-g-PAM dan waktu reaksi



Gambar 7. Histogram yang menunjukkan hubungan antara nisbah pencangkakan (GR) dan waktu reaksi pada tiga taraf jumlah akrilamida

Dalam penelitian ini digunakan persentase perbandingan dalam satuan mol sehingga didapatkan persentase mol akrilamida terhadap CMS secara berurutan adalah 1139,40% untuk jumlah akrilamida 50 mL, 2278,80% untuk jumlah akrilamida 100 mL dan 3418,20% untuk jumlah akrilamida 150 mL. Dalam perhitungan GE diasumsikan semua CMS yang ditambahkan habis bereaksi. Akrilamida yang tercangkok dihitung sebagai bobot produk CMS yang tercangkok oleh poliakrilamida dikurangi bobot CMS awal. Kenyataannya, tidak semua CMS terlibat dalam reaksi. Oleh karena itu, nilai GR akan selalu lebih besar dari pada nilai GE (Silvianita *et al.*, 2004).

Faktor perlakuan jumlah akrilamida dan waktu reaksi menghasilkan rata-rata nilai GE 0,158%. Dari perlakuan yang diujikan diketahui bahwa nilai GE terendah adalah 0,070% dan nilai tertinggi GE adalah 0,349%. Nilai tertinggi GE tersebut dihasilkan dari kombinasi perlakuan jumlah akrilamida 100 ml dan waktu reaksi kopolimerisasi 3 menit. Jika dikaitkan dengan perolehan produk,

maka produk dengan nilai GE tertinggi merupakan produk dengan angka perolehan produk yang tertinggi.

Hubungan antara perlakuan jumlah akrilamida dan waktu reaksi kopolimerisasi digambarkan dengan histogram pada Gambar 8. Dari gambar histogram tersebut terlihat bahwa meningkatnya waktu reaksi dari 1 menit ke 3 menit menyebabkan sedikit peningkatan nilai GE, tetapi nilai GE menurun pada waktu reaksi 5 menit. Meningkat dan menurunnya nilai GE karena pengaruh waktu tersebut berkaitan dengan kerusakan struktur kerangka dasar CMS yang akan berikatan dengan akrilamida. Semakin lama iradiasi gelombang mikro pada CMS maka akan menyebabkan kerusakan rantai kerangka dasar CMS secara struktural (Sen *et al.*, 2009).

Hasil analisis ragam nilai GE pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa secara statistik jumlah akrilamida, waktu reaksi kopolimerisasi dan interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap nilai GE yang dihasilkan. Hasil uji

perbandingan berpasangan dengan metode beda nyata jujur (BNJ) menunjukkan bahwa secara statistik setiap taraf perlakuan jumlah akrilamida dan taraf perlakuan waktu reaksi berbeda nyata pengaruhnya terhadap perubahan nilai GE kecuali taraf jumlah akrilamida 100 mL dan 150 mL (tidak berbeda nyata). Dengan demikian perlakuan jumlah akrilamida 100 mL dan waktu reaksi 3 menit merupakan kombinasi perlakuan terbaik untuk menghasilkan nilai GE tertinggi (0,349%). Sebagai perbandingan, Rinawita (2011) telah berhasil melakukan pencangkakan dengan efisiensi 31-50% menggunakan selulosa komersial dan akrilamida. Kurniadi (2010) juga mendapatkan efisiensi pencangkakan 10-14% menggunakan onggok singkong dan asam akrilat.

Hasil Uji Kinerja Kopolimer Cangkok CMS-g-PAM sebagai Flokulan pada Air Sungai TSS

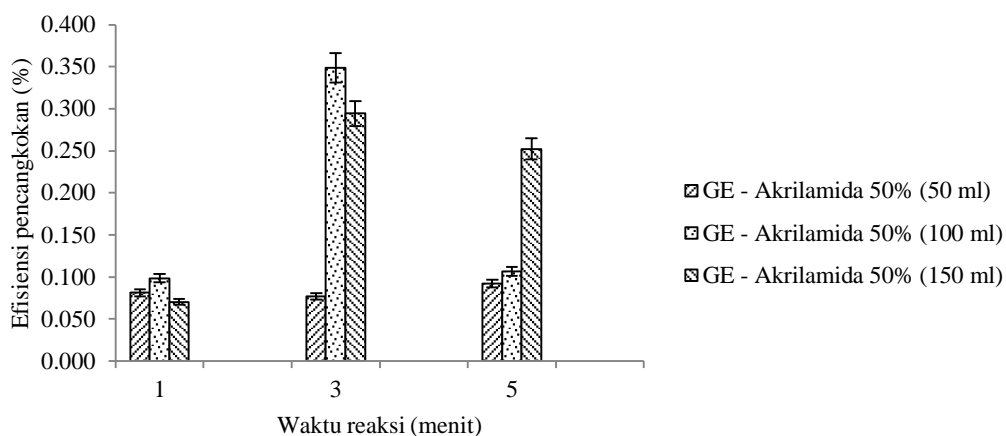
Padatan tersuspensi total atau *Total Suspended Solid* (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 μm atau diameter bahan tersuspensi tersebut lebih dari 1 μm (Effendi, 2003). Yang termasuk ke dalam kategori TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. TSS memberikan kontribusi untuk kekeruhan (*turbidity*) dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan sehingga reduksi kandungan TSS dalam pengolahan air limbah sangat penting perannya.

Air sungai yang digunakan memiliki kadar TSS rata-rata 7,5 mg/L. Pati sagu dan CMS memiliki kemampuan yang sama dalam menurunkan kadar TSS menjadi 3,5 mg/l atau dengan kata lain efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) TSS oleh pati sagu dan CMS adalah 53,33%. Kopolimer CMS-g-PAM yang difungsikan sebagai flokulan hibrid mampu menurunkan kadar TSS air sungai dari 7,5 mg/l menjadi 2,8 mg/L (rata-rata). Secara keseluruhan

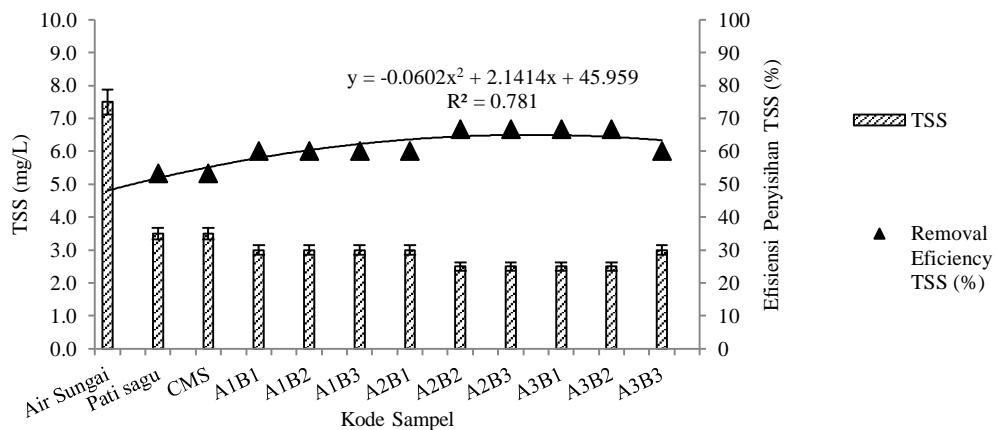
flokulan CMS-g-PAM memiliki rata-rata efisiensi penyisihan 62,96%. Dengan demikian reaksi kopolimerisasi yang dilakukan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan TSS oleh CMS dari 53,33% menjadi 62,96% atau meningkat sebesar 9,63%.

Hubungan antara kadar TSS dan efisiensi penyisihannya karena penggunaan flokulan pati sagu, CMS dan CMS-g-PAM (jenis flokulan) diperlihatkan pada Gambar 9. Semakin tinggi efisiensi penyisihan TSS oleh flokulan semakin baik kinerja flokulan tersebut. Dari Gambar 9 tersebut terlihat bahwa efisiensi penyisihan membentuk pola fungsi polinomial orde 2 yang berbentuk parabola terbalik. Jika ditarik garis imajiner dari puncak parabola tersebut ke arah axis (jenis flokulan), maka flokulan A2B2 memberikan efisiensi penyisihan TSS yang tertinggi. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan jumlah akrilamida 100 ml dan waktu reaksi 3 menit mampu menghasilkan flokulan dengan efisiensi penyisihan tertinggi. Flokulan terbaik tersebut mampu menyisihkan TSS sebesar 66,67% atau menurunkan TSS 7,5 mg/L menjadi 2,5 mg/L.

Hasil analisis ragam pada TSS dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa jenis flokulan (pati sagu, CMS dan CMS-g-PAM) tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan TSS. Hasil uji perbandingan berpasangan dengan metode BNJ menunjukkan bahwa secara statistik jenis flokulan tidak berbeda nyata pengaruhnya terhadap perubahan nilai TSS. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh kondisi air sungai seperti kandungan zat tersuspensi, sifat zat tersuspensi, suhu dan pH (Indriyati, 2008). Kondisi awal air uji memiliki karakteristik suhu 27°C dan rata-rata pH 6,85 dengan kandungan TSS 7,5 mg/l. Penggunaan dosis flokulan yang optimum pada pH dan suhu optimum diduga dapat menurunkan kadar TSS secara maksimal.



Gambar 8. Histogram yang menunjukkan hubungan antara efisiensi pencangkakan (GE) dan waktu reaksi pada beberapa jumlah akrilamida



Keterangan:

- A1 = jumlah akrilamida 50 mL B1 = waktu reaksi 1 menit
- A2 = jumlah akrilamida 100 mL B2 = waktu reaksi 3 menit
- A3 = jumlah akrilamida 150 mL B3 = waktu reaksi 5 menit

Gambar 9. Histogram yang menunjukkan hubungan antara nilai TSS dan efisiensi penyisihan TSS pada air sungai dan air sungai dengan penambahan pati sagu, CMS dan kopolimer CMS-g-PAM

Kekeruhan

Air sungai yang digunakan dalam penelitian memiliki kekeruhan rata-rata 8,5 FTU. Pati sagu dan CMS memiliki kemampuan yang sama dalam menurunkan kekeruhan air tersebut menjadi 2,5 FTU atau dengan kata lain efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) kekeruhan oleh pati sagu dan CMS adalah 70,59%. Kopolimer CMS-g-PAM yang difungsikan sebagai flokulan mampu menurunkan kekeruhan air sungai dari 8,5 FTU menjadi 1,9 FTU (rata-rata) sehingga secara keseluruhan flokulan CMS-g-PAM memiliki rata-rata efisiensi penyisihan kekeruhan 77,65%. Dengan demikian reaksi kopolimerisasi yang dilakukan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan oleh CMS dari 70,59% menjadi 77,65% atau meningkat sebesar 7,06%.

Hubungan antara kekeruhan dan efisiensi penyisihannya karena penggunaan flokulan pati sagu, CMS dan CMS-g-PAM diperlihatkan pada Gambar 10. Semakin tinggi efisiensi penyisihan kekeruhan oleh flokulan semakin baik kinerja flokulan tersebut. Dari Gambar 10 terlihat bahwa efisiensi penyisihan kekeruhan membentuk pola fungsi polinomial orde 4 sehingga sulit untuk menentukan flokulan terbaik dalam menurunkan kekeruhan. Selain itu, dari Gambar 10 tersebut terlihat bahwa fungsi efisiensi penyisihan kekeruhan berbeda dengan fungsi efisiensi penyisihan TSS. Hal tersebut memperkuat pendapat bahwa kekeruhan tidak berkorelasi langsung dengan nilai TSS.

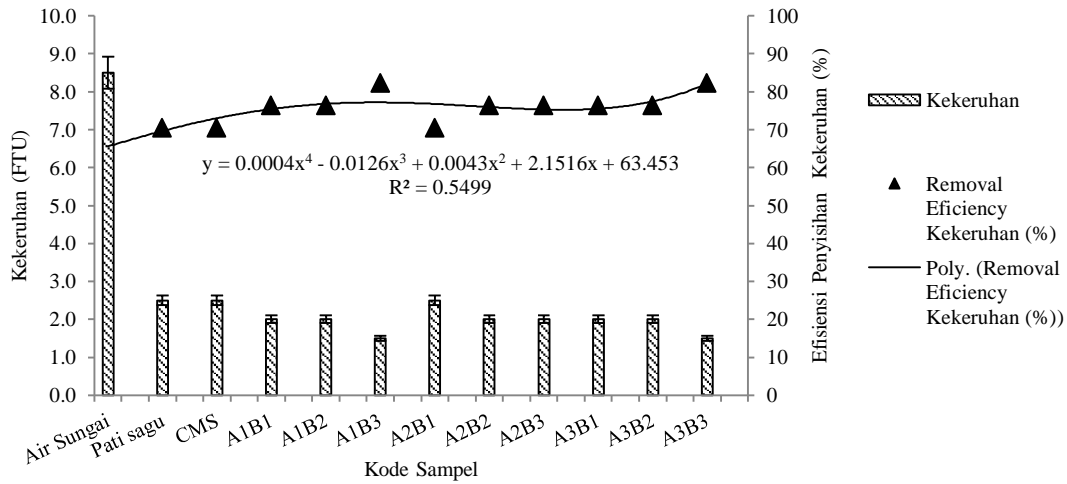
Hasil analisis ragam pada kekeruhan dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa jenis flokulan tidak berpengaruh nyata terhadap kekeruhan. Hasil uji perbandingan berpasangan dengan metode BNJ menunjukkan

bahwa secara statistik jenis flokulan tidak berbeda nyata pengaruhnya terhadap perubahan nilai kekeruhan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, hal tersebut mungkin disebabkan oleh kondisi air uji seperti kandungan zat tersuspensi, sifat zat tersuspensi, suhu dan pH (Indriyati, 2008). Kondisi awal air uji memiliki karakteristik suhu 27°C dan rataan pH 6,85 dengan kekeruhan 8,5 FTU.

Warna

Air sungai yang digunakan dalam penelitian memiliki warna rata-rata 40,5 unit PtCo. Pati sagu memiliki kemampuan menurunkan warna yang lebih baik daripada CMS. Hal tersebut terlihat dari nilai efisiensi penyisihan warna oleh pati sagu lebih tinggi (65,43%) daripada efisiensi penyisihan warna oleh CMS (60,49%). Kopolimer CMS-g-PAM yang difungsikan sebagai flokulan mampu menurunkan kekeruhan air sungai dari 40,5 unit PtCo menjadi 11,4 unit PtCo (rata-rata) sehingga secara keseluruhan flokulan CMS-g-PAM memiliki rata-rata efisiensi penyisihan kekeruhan 71,85%. Dengan demikian reaksi kopolimerisasi yang dilakukan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan warna oleh CMS dari 60,49% menjadi 71,85% atau meningkat sebesar 11,36%.

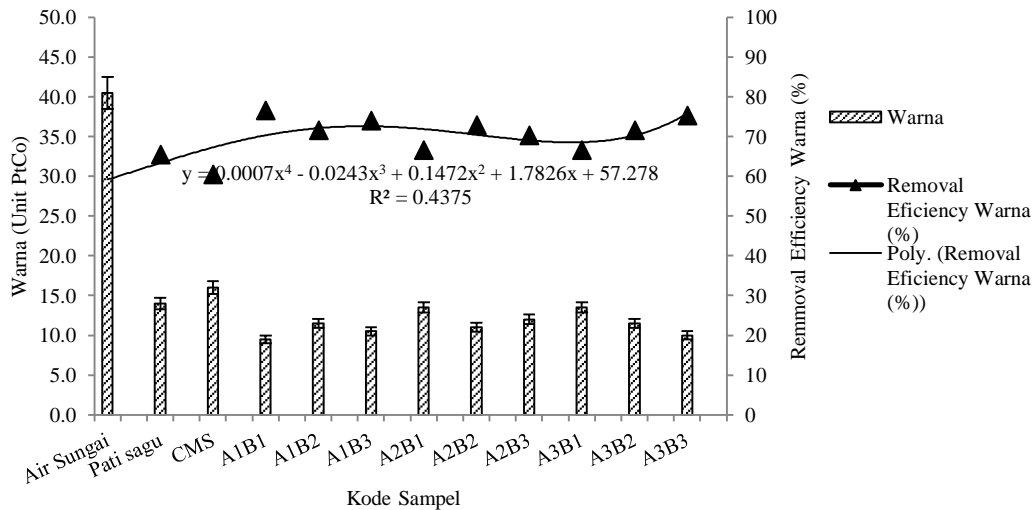
Hubungan antara warna dan efisiensi penyisihannya karena penggunaan flokulan pati sagu, CMS dan CMS-g-PAM diperlihatkan pada Gambar 11. Semakin tinggi efisiensi penyisihan warna oleh flokulan semakin baik kinerja flokulan tersebut. Dari Gambar 11 terlihat bahwa efisiensi penyisihan warna membentuk pola fungsi polinomial orde 4 seperti pola fungsi efisiensi penyisihan kekeruhan.



Keterangan

- A1 = jumlah akrilamida 50 mL
- A2 = jumlah akrilamida 100 mL
- A3 = jumlah akrilamida 150 mL
- B1 = waktu reaksi 1 menit
- B2 = waktu reaksi 3 menit
- B3 = waktu reaksi 5 menit

Gambar 10. Histogram yang menunjukkan hubungan antara nilai kekeruhan dan efisiensi penyisihan kekeruhan pada air sungai dan air sungai dengan penambahan pati sagu, CMS dan kopolimer CMS-g-PAM



Keterangan

- A1 = jumlah akrilamida 50 mL
- A2 = jumlah akrilamida 100 mL
- A3 = jumlah akrilamida 150 mL
- B1 = waktu reaksi 1 menit
- B2 = waktu reaksi 3 menit
- B3 = waktu reaksi 5 menit

Gambar 11. Histogram yang menunjukkan hubungan antara nilai warna dan efisiensi penyisihan warna pada air sungai dan air sungai dengan penambahan pati sagu, CMS dan kopolimer CMS-g-PAM

Hasil analisis ragam pada warna dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa jenis flokulan tidak berpengaruh nyata terhadap warna. Hasil uji perbandingan berpasangan dengan metode BNJ menunjukkan bahwa secara statistik jenis flokulan tidak berbeda nyata pengaruhnya terhadap perubahan nilai kekeruhan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, hal tersebut mungkin disebabkan oleh kondisi air uji seperti kandungan zat tersuspensi, sifat zat tersuspensi, suhu dan pH

(Indriyati, 2008). Kondisi awal air uji memiliki karakteristik suhu 27°C dan rata-ran pH 6,85 dengan kekeruhan 40,5 unit PtCo.

Kopolimerisasi Cangkok Menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro dengan Perlakuan Penutup Aluminium Foil dan Tanpa Penutup

Percobaan lanjutan dilakukan dengan perlakuan penggunaan tutup aluminium foil dan tanpa penggunaan tutup pada proses kopolimerisasi

cangkok di dalam *oven microwave*. Percobaan lanjutan tersebut menggunakan kondisi perlakuan terbaik yaitu jumlah akrilamida 100 mL dan waktu reaksi kopolimerisasi 3 menit. CMS yang digunakan adalah 5 gram dan diperoleh produk 4,8 g atau terjadi konversi 96%.

Dari hasil pengukuran dan perhitungan diketahui bahwa nilai GR dan nilai GE pada sampel uji dengan perlakuan tanpa menggunakan tutup (1,262%) lebih tinggi hampir empat kali lipat (3,6 kali) jika dibandingkan dengan nilai GR dan nilai GE pada sampel uji dengan perlakuan menggunakan tutup aluminium foil (0,349%). Nilai rata-rata kadar nitrogen, nilai GR dan nilai GE dapat dilihat pada Tabel 3. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan tutup mempengaruhi efisiensi pencangkakan akrilamida pada kerangka dasar CMS dari pati sagu.

Hasil analisis ragam pada nilai GE dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa perlakuan penggunaan tutup aluminium foil berpengaruh nyata terhadap nilai GE. Berdasarkan hasil uji beda nyata jujur diketahui bahwa terdapat perbedaan nyata antara efisiensi pencangkakan yang dihasilkan dari perlakuan percobaan dengan menggunakan tutup aluminium foil dan tanpa menggunakan tutup pada bejana reaksi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa logam (aluminium foil) dapat menghalangi terjadinya reaksi kopolimerisasi secara lebih sempurna karena gelombang mikro tidak dapat menembus lapisan logam tersebut. Dengan demikian, penelitian lanjutan terkait dengan penelitian ini disarankan untuk tidak menggunakan penutup pada bejana reaksi yang menghalangi iradiasi gelombang mikro.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kopolimer cangkok CMS-g-PAM dapat disintesis dari pati sagu dan akrilamida dengan menggunakan iradiasi gelombang mikro (*microwave*

initiated synthesis). Berdasarkan hasil pengukuran perolehan produk, nisbah pencangkakan, efisiensi pencangkakan dan kinerja flokulasi dapat disimpulkan bahwa kondisi reaksi kopolimerisasi terbaik adalah dengan menggunakan jumlah akrilamida 100 mL dan waktu reaksi kopolimerisasi 3 menit menggunakan *microwave*. Pada kondisi tersebut diperoleh perolehan produk 99,82%, nisbah pencangkakan 7,95% dan efisiensi pencangkakan 0,349%. Perolehan produk tidak dipengaruhi secara nyata oleh jumlah akrilamida, waktu reaksi dan interaksi keduanya, sedangkan nisbah pencangkakan dan efisiensi pencangkakan dipengaruhi secara nyata oleh jumlah akrilamida, waktu reaksi dan interaksi keduanya. Flokulan terbaik yang dihasilkan mampu menurunkan TSS 7,5 mg/L menjadi 2,5 mg/l (66,67%), kekeruhan 8,5 FTU menjadi 2 FTU (76,47%) dan warna 40,5 unit PtCo menjadi 11 unit PtCo (72,84%).

Penggunaan aluminium foil mempengaruhi kadar nitrogen, nisbah pencangkakan, dan efisiensi pencangkakan produk yang dihasilkan pada reaksi kopolimerisasi cangkok yang menggunakan iradiasi gelombang mikro. Nilai GR (nisbah pencangkakan) dan nilai GE (efisiensi pencangkakan) produk CMS-g-PAM hasil reaksi kopolimerisasi tanpa menggunakan tutup (1,262%) lebih tinggi hampir empat kali lipat (3,6 kali) jika dibandingkan dengan nilai GR dan nilai GE pada sampel uji dengan perlakuan menggunakan tutup aluminium foil (0,349%).

Saran

Perlu penelitian lanjutan dengan menggunakan CMS komersial atau dengan menggunakan suhu reaksi yang melebihi suhu gelatinisasi pati sagu pada saat pembuatan CMS. Penelitian lanjutan terkait dengan penggunaan gelombang mikro disarankan untuk menggunakan penutup bejana reaksi yang dapat ditembus oleh gelombang mikro atau tanpa menggunakan penutup.

Tabel 3. Hasil pengukuran kadar nitrogen, nilai GR dan nilai GE dengan perlakuan menggunakan penutup dan tanpa penutup

| Perlakuan | Akrilamida 50% (ml) | Waktu reaksi kopolimerisasi (menit) | Kadar N Kjeldahl (%) | Nisbah pencangkakan (GR) (%) | Efisiensi Pencangkakan (GE) (%) |
|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Kopolimerisasi dengan tutup aluminium foil | 100 | 3 | 1,45 | 7,95 | 0,349 |
| Kopolimerisasi tanpa tutup | 100 | 3 | 4,40 | 28,76 | 1,262 |

DAFTAR PUSTAKA

- Arbakariya A, Asbi BA, Norjehan R. 1990. Rheological behaviour of sago starch during liquefaction and saccharification. *J Food Eng* 10: 610-613.
- Aunuddin. 2005. Statistika: rancangan dan analisis data. Bogor: IPB Press.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2010. Metode pengujian koagulasi-flokulasi dengan cara jar. SNI 19-6449-2000.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2008. Tepung sagu. SNI 3729:2008.
- Cecil JE, Lau G, Heng SH, Ku CK. 1982. The sago industry: a technical profile based on preliminary study made in Sarawak. London: London Tropical Institute.
- Cresswell CJ, Runquist OA, Campbell M. 2005. Analisis spektrum senyawa organik. Padmawinata K, Soediro I, penerjemah; Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari: Spectrum analysis of organic compound.
- Effendi H. 2003. Telaah kualitas air, bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Ghosh S, Jha U, Pal S. 2011. High performance polymeric flocculant based on hydrolyzed polyacrylamide grafted tamarind kernel polysaccharide (Hyd. TKP-g-PAM). *Bioresour Technol* 102: 2137-2139.
- Goyal P, Kumar V, dan Sharma P. 2007. Carboxymethylation of Tamarind kernel powder. *Carbohydr Polym* 69: 251-255.
- Gupta, AL. 2010. Polymer chemistry. Meerut: Pragati Publications.
- Hashem A, Afifi MA, El-Alfy EA, Hebeish A. 2005. Synthesis, characterization and saponification of poly (AN)-starch composites and properties of their hydrogels. *Am J Appl Sci* 2: 614-621.
- Indriyati. 2008. Proses Pengolahan Limbah Organik Secara Koagulasi Dan Flokulasi. *J Reky Lingk* 4: 125-130.
- Jong FS dan Widjono A. 2007. Sagu: potensi besar pertanian Indonesia. *J Iptek Tanaman Pangan* 2 (1): 54-65
- Kurniadi T. 2010. Kopolimerisasi Grafting Monomer Asam Akrilat pada Onggok Singkong Dan Karakteristiknya [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Mishra S, Rani GU, dan Sen G. 2012. Microwave initiated synthesis and application of polyacrylic acid grafted carboxymethyl cellulose. *Carbohydr Polym J* 87: 2255-2262.
- Mistry BD. 2009. A Handbook of Spectroscopic Data CHEMISTRY (UV, JR, PMR, JJCNR and Mass Spectroscopy). Jaipur: Oxford Book Company.
- Mostafa M. 2007. Modification of carbohydrate polymers part 2: Grafting of methacrylamide onto pregelled starch using vanadium-mercapto succinic acid redox pair. *J Appl Sci Res* 3(8): 681-689.
- Pal S, Sen G, Ghosh S, Singh RP. 2012. High performance polymeric flocculants based on modified polysaccharides – Microwave assisted synthesis. *Carbohydr. Polym.* 87: 336-342.
- Pomeranz Y. 1991. Functional properties of food component. 2nd ed. London: Academic Press Inc.
- Purwaningsih H. 2012. Rekayasa biopolimer dari limbah pertanian berbasis selulosa dan aplikasinya sebagai material separator [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rinawita. 2010. Modifikasi selulosa dengan teknik pencangkakan dan penautan silang menggunakan akrilamida [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Risdianto D. 2007. Optimisasi proses koagulasi flokulasi untuk pengolahan air limbah industri jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul) [Tesis]. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Syamsir E, Hariyadi P, Fardiaz D, Andarwulan N, Kusnandar F. 2012. Pengaruh proses *heat-moisture treatment* (HMT) terhadap karakteristik fisikokimia pati. *J. Teknol. dan Industri Pangan* 23(1): 100-106.
- Sen G, Kumar R, Ghosh S, Pal S. 2009. A novel polymeric flocculant based on polyacrylamide grafted carboxymethylstarch. *Carbohydr Polym* 77: 822-831.
- Sen G, Ghosh S, Jha U, Pal S. 2011. Hydrolyzed polyacrylamide grafted carboxymethylstarch (Hyd. CMS-g-PAM): an efficient flocculant for treatment of textile industry wastewater. *Chem Eng J* 171: 495-501.
- Sen G, Mishra S, Rani GU, Rani P, Prasad R. 2012. Microwave initiated synthesis of polyacrylamide grafted Psyllium and its application as flocculant. *Int J Biol Macromol* 50: 369-375.
- Shagar AD, Pulle JS, Reddy SM, Yadav MV. 2012. Microwave assisted synthesis of carboxymethyl starch. *J Chem Sci*: 10(1): 36-42.
- Silvianita S, Nurmasari I, Sulistio A, Kurniawan F, Sumarno. 2004. Kopolimerisasi dari poliakrilamida pada pati dengan metode grafting. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. Semarang, Indonesia. 21-22 Apr 2004
- Skoog DA, Holler FJ, dan Nieman TA. 1998. Principles of instrumental analysis. Michigan: Saunders College Pub.

- Teli MD dan Waghmare. 2009. Synthesis of superabsorbent from carbohydrate waste. *Carbohydr Polym* 78: 492-496.
- Yang Z, Yuan BO, Huang X, Zhou J, Cai J, Yang H, Li A, Cheng R. 2012. Evaluation of the flocculation performance of carboxymethylchitosan-graft-polyacrylamide, a novel amphoteric chemically bonded composite flocculant. *Water Research* 46:107-114.
- Yuliasih I. 2008. Fraksinasi dan asetilasi pati sagu (*Metroxylon sago* Rottb) serta aplikasi produknya sebagai bahan campuran plastik sintetik. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.