

**PENGARUH ASAM FORMIAT PADA BULU AYAM SEBAGAI ADSORBEN
TERHADAP PENURUNAN KADAR LARUTAN ZAT WARNA
TEKSTIL *REMAZOL GOLDEN YELLOW RNL***

Nailys Sa'adah, Rum Hastuti, Nor Basid Adiwibawa Prasetya

Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fak.Sains dan Matematika, Universitas
Diponegoro Jl. Prof. Soedharto, SH, Semarang 50275, Telp. (024)76480824

Abstract

Effect of Formic Acid to Hen Feathers As Adsorbent for Decreasing Concentration Levels of *Remazol Golden Yellow RNL* Textile Dye. Hen feathers is a waste that can be utilized because of the content of keratin existence. keratin is fiber protein containing amino acids such as cysteine. Research which is trying to modify a hen feathers by the addition of formic acid in adsorption method to decrease the levels of textile dye solution until now has not been reported. This study began by preparing the feather as adsorbent and then followed by treatment using formic acid for hen feathers. Results showed that feather adsorbent without and with formic acid treatment produced the different level of dye decrease. This is because the addition of formic acid can enlarge the pores of the hen feathers so that the resulting the more effective adsorption, indicated by the 66.09% increase in surface area, 29.22% increase in pore average and 114.93% % increase in total pore volume. While the value of the maximum adsorption capacity of untreated feathers and with formic acid treatment amounted to 7.892 mg/g and 10.471 mg/g.

Keywords : hen feathers, keratin, formic acid, *Remazol Golden Yellow RNL*, adsorption

Abstrak

Bulu ayam merupakan suatu limbah yang dapat dimanfaatkan keberadaannya karena adanya kandungan keratin. Keratin merupakan protein serat yang mengandung asam amino seperti sistein. Riset yang mencoba membuat adsorben bulu ayam dengan penambahan asam formiat menggunakan metode adsorpsi untuk penurunan kadar larutan zat warna tekstil hingga sekarang belum pernah dilaporkan. Penelitian ini dimulai dengan membuat adsorben bulu ayam dan dilanjutkan dengan perlakuan bulu ayam menggunakan asam formiat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan asam formiat menghasilkan nilai penurunan kadar zat warna yang berbeda. Hal ini dikarenakan penambahan asam formiat dapat memperbesar pori-pori pada bulu ayam sehingga hasil adsorpsi yang dihasilkan lebih efektif, ditunjukkan dengan naiknya luas permukaan 66,09%, rata-rata pori 29,22% dan total volume pori 114,93%. Sedangkan nilai kapasitas adsorpsi maksimum bulu ayam tanpa perlakuan dan dengan perlakuan asam formiat masing-masing sebesar 7,892 mg/g dan 10,471 mg/g.

Kata kunci : bulu ayam, keratin, asam formiat, *Remazol Golden Yellow RNL*, adsorpsi

PENDAHULUAN

Peningkatan usaha peternakan ayam dapat menimbulkan peningkatan limbah bulu ayam yang dihasilkan dari usaha industri rumah potong ayam. Berdasarkan statistik Direktorat Jenderal Peternakan (2011), produksi broiler pada tahun 2011 mencapai setidaknya 1,3 juta ekor dengan asumsi limbah bulu hasil pemotongan sekitar 4-5% bobot hidup dan rata-rata bobot panen 1,6 kg sehingga dapat diperkirakan total limbah bulu ayam tahun ini dari ayam jenis *broiler* saja dapat lebih dari 100 ribu ton.

Protein bulu ayam sebagian besar terdiri atas keratin yang digolongkan ke dalam protein serat. Keratin adalah produk pengerasan jaringan epidermal dari tubuh dan merupakan protein *fibrous* yang kaya akan sulfur dan banyak terdapat pada rambut, kuku dan bulu (Haurowitz, 1984). Keratin merupakan molekul protein yang mempunyai bentuk spiral, sehingga menghasilkan produk yang kuat, lunak (lentur) dan bersifat serat yang banyak terdapat pada lapisan pelindung hewan seperti kulit rambut atau bulu. Bulu ayam mengandung protein kasar yang cukup tinggi yaitu 80-91% dari bahan kering, lemak kasar 7,79% dan serat kasar 0,88%. Sifat fisik dari keratin adalah tidak larut dalam air dan sulit larut dalam pemanasan alkali (Puastuti, 2007).

Permasalahan lain yang muncul yaitu perkembangan industri tekstil yang maju dan berkembang pesat, menyebabkan bertambahnya limbah-limbah yang dihasilkan baik volume maupun jenisnya, sehingga limbah dari zat warna tekstil merupakan salah satu pencemar organik bersifat nonbiodegradable. Limbah tekstil merupakan limbah cair yang memiliki warna pekat, umumnya berasal dari sisa-sisa zat warna yang merupakan suatu senyawa kompleks aromatik berupa senyawa azo dan turunannya dari gugus benzen yang sulit didegradasi, sehingga keberadaannya dilingkungan dapat

menjadi sumber penyakit karena bersifat karsinogenik dan mutagenik.

Menurut penelitian Mittal (2005) penggunaan bulu ayam sebagai adsorben potensial dapat digunakan untuk penghapusan pewarna berbahaya *Brilliant Blue FCF* yang berasal dari air limbah dengan metode *batch* menunjukkan zat warna teradsorpsi oleh bulu ayam dengan kapasitas adsorpsi maksimum $3,99 \times 10^{-4}$ mol/gr. Penelitian yang dilakukan Chowdury dan Saha (2012) menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum bulu ayam terhadap *Metilen Blue* sebesar 134,76 mg/gr. Penelitian yang dilakukan oleh Mittal (2006) menunjukkan bahwa bulu ayam dapat mengadsorpsi zat warna *Malachite Green* dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar $2,93 \times 10^{-5}$ mol/gr. Berdasarkan penelitian Villareal, dkk (2011) bulu ayam dapat mengadsorpsi logam berat Zn^{2+} dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 4,31 mg/g. Penggunaan asam formiat pada bulu ayam dilakukan berdasarkan penelitian Barone dan Schmidt (2005) yang menunjukkan bahwa sebelum dan setelah penambahan asam formiat pada keratin menghasilkan perubahan struktur kristalinitas. Hasil penelitian Aluigi, dkk., (2007) menunjukkan pengaruh asam formiat terhadap keratin memberikan interaksi yang kuat pada rantai keratin seperti C-O, O-H, COOH, SH dan NH_3^+ .

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bulu Ayam, Deterjen, Akuades, Dietil Eter p.a, NaOH p.a, HCl p.a, Asam Formiat p.a, Serbuk *Remazol Golden Yellow RNL*.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggiling bulu ayam, penyaring buchner, kertas saring, oven, timbangan (Ohaus PA214 Pioneer), gelas ukur, pipet tetes, gelas beker, pengaduk

magnet, spatula, botol vial, Spektrofotometer UV-Tampak (Spektronik 20), Spektrofotometer FTIR (Shimadzu Prestige-21), Surface Area Analyzer (Quantachrome Nova Win-10)

Cara Kerja

Pembuatan Adsorben Biomassa Bulu Ayam

Bulu ayam 1 kg dicuci dengan air dan deterjen, kemudian dijemur sampai kering dan hilang baunya. Setelah kering, bulu ayam tersebut dipotong kecil-kecil dan digiling sampai halus.

Adsorben yang sudah halus direndam dengan dietileter sampai terendam selama 24 jam kemudian disaring dengan menggunakan corong Buchner. Residu yang didapat dikeringkan dengan oven pada suhu 40 °C sehingga adsorben siap digunakan, kemudian dikarakterisasi dengan FTIR dan BET.

Penambahan Asam Formiat pada Bulu Ayam

Bulu Ayam 20 gram direndam dengan 150 mL HCl 0,5 M, kemudian campuran tersebut ditambahkan dengan 50 mL asam formiat. Setelah bercampur, ditambahkan NaOH 0,5 M sebanyak 150 mL kemudian diaduk selama 24 jam. Campuran hasil pengadukan disaring dan dibilas dengan akuades, kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C dan didinginkan pada suhu kamar. lalu dikarakterisasi dengan FTIR dan BET.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks}) Zat Warna *Remazol Golden Yellow RNL*

Larutan zat warna *Remazol Golden Yellow RNL* 30 ppm ditentukan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 200-800 nm.

Penentuan Kurva Kalibrasi Larutan *Remazol Golden Yellow RNL*

Larutan *Remazol Yellow RNL* dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, 30

dan 35 ppm dianalisis dengan spektrofotometer UV-Tampak pada λ maksimum, kemudian dibuat kurva kalibrasi.

Optimasi Penyerapan Zat Warna *Golden Yellow RNL*

a. Variasi pH

Sebanyak 0,2 gram adsorben siap pakai dimasukkan dalam 50 ml larutan sampel 30 ppm *Remazol Golden Yellow RNL*. Keasaman larutan diatur pada pH 1, 3, 5, 7, 9 dan 11 dengan menambahkan larutan HCl atau NaOH lalu diaduk di atas *shaker* selama 60 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer UV-Tampak.

b. Variasi Waktu Kontak

Sebanyak 0,2 gram adsorben siap pakai dimasukkan dalam 50 mL larutan sampel 30 ppm *Remazol Golden Yellow RNL*, diaduk di atas *shaker* dengan variasi waktu 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer UV-Tampak.

c. Variasi Konsentrasi

Sebanyak 0,2 gram adsorben siap pakai dimasukkan dalam konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm *Remazol Golden Yellow RNL*, diaduk di atas *shaker* dengan pH dan waktu optimum yang telah didapatkan pada percobaan sebelumnya. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer UV-Tampak, kemudian dibuat grafik antara konsentrasi filtrat dengan konsentrasi akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan asam formiat pada serbuk biomassa bulu ayam sebagai adsorben untuk mengatasi limbah zat warna *Remazol Golden Yellow RNL*.

Pembuatan Adsorben Biomassa Bulu Ayam

Keratin adalah serat protein yang banyak terdapat pada lapisan pelindung

pada hewan, seperti kulit rambut atau bulu. Biomassa bulu ayam digunakan sebagai adsorben dikarenakan bulu ayam mengandung keratin yang digolongkan dalam protein serat yang mengandung gugus-gugus N-H, C=O, O-H, COOH dan S-H (Villareal, dkk, 2011). Serbuk bulu ayam yang digunakan sebelum adsorpsi dicuci dengan dietil eter, untuk menghilangkan sisa-sisa lemak yang masih berada dalam biomassa bulu ayam

(Ni'mah dan Ulfin, 2007) sehingga tidak akan mengganggu proses penyerapan larutan zat warna.

Penambahan Asam Formiat pada Bulu Ayam

Bulu ayam yang mengandung gugus fungsional keratin diaktivasi dalam larutan asam (HCl) yang berfungsi untuk mendenaturasi protein, kemudian asam formiat ditambahkan pada campuran tersebut. Asam formiat ditambahkan untuk memperkuat gugus keratin (Aluigi, dkk, 2007) karena asam formiat dapat membuka situs aktif keratin sehingga diharapkan bulu ayam mampu mengadsorpsi zat warna lebih banyak. Berdasarkan perlakuan tersebut maka dilakukan penentuan gugus aktif dalam bulu ayam yang diperlakukan tanpa maupun dengan asam formiat menggunakan spektrofotometer FTIR dan *Surface Area Analyzer (SAA)*.

Analisis dengan menggunakan spektroskopi inframerah bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada bulu ayam tanpa dan dengan penambahan asam formiat. Gambar 1

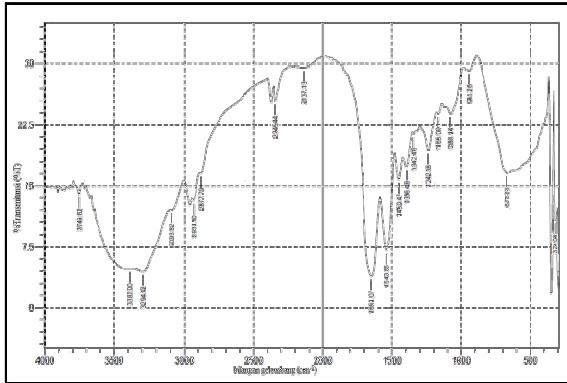
menunjukkan spektra bulu ayam tanpa perlakuan asam formiat. Menurut Silverstain (1986) munculnya serapan dengan bilangan gelombang 3294 cm^{-1} menunjukkan rentang vibrasi ulur O-H simetris N-H, diperkuat dengan adanya N-H tekuk yang menyerap dekat 1543 cm^{-1} . Vibrasi ulur C-N memberikan serapan pada 1242 cm^{-1} . Vibrasi ulur C-H muncul pada serapan 2931 cm^{-1} yang diperkuat serapan C-H tekuk pada 1450 cm^{-1} . Adanya serapan 1650 cm^{-1} menandai terdapatnya serapan C=O, serapan 1242 cm^{-1} menandai vibrasi ulur rentangan dari C-O asam karboksilat. Pita O-H vibrasi ulur muncul pada serapan 3387 cm^{-1} , diperkuat serapan vibrasi tekuk O-H asam karboksilat memberikan serapan pada 1396 cm^{-1} . Vibrasi ulur S-H muncul pada 2345 cm^{-1} sedangkan vibrasi tekuk C-S muncul pada 671 cm^{-1} . Berdasarkan hasil spektra FTIR dapat disimpulkan bahwa di dalam bulu ayam terdapat gugus-gugus keratin.

Gambar 2 menunjukkan spektra bulu ayam dengan perlakuan asam formiat. Hasil spektra FTIR bulu ayam dengan penambahan asam formiat tidak menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang. Hal ini dikarenakan asam formiat mempunyai gugus yang sama seperti pada keratin sehingga tidak terlihat terjadinya perubahan pada bilangan gelombang tersebut.

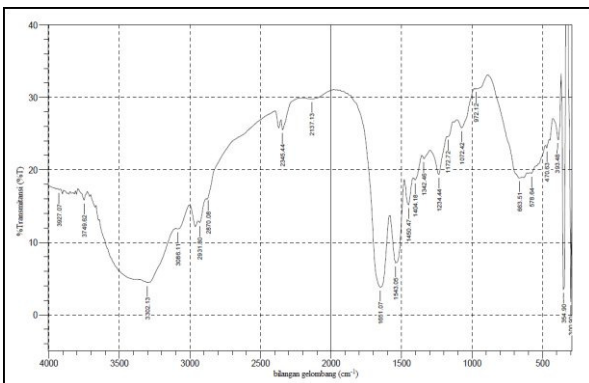
Tabel 1 menunjukkan hasil uji pori bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan asam formiat. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan asam formiat dapat memperbesar pori-pori pada bulu ayam.

Tabel 1: Hasil uji pori bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan asam formiat

Uji Perlakuan	Bulu ayam	
	Tanpa penambahan asam formiat	Dengan penambahan asam formiat
Ukuran Rata- rata Pori	$1,4337.10^2\text{ \AA}$	$1,85568.10^2\text{ \AA}$
Luas Permukaan	$1,404\text{ m}^2/\text{g}$	$2,332\text{ m}^2/\text{g}$
Total Volume Pori	$5,034.10^{-3}\text{ mL/g}$	$1,082.10^{-2}\text{ mL/g}$



Gambar 1. Spektra FTIR Bulu Ayam Tanpa Perlakuan Asam Formiat



Gambar 2. Spektra FTIR Bulu Ayam Dengan Perlakuan Asam Formiat

Penentuan λ_{maks} Zat Warna

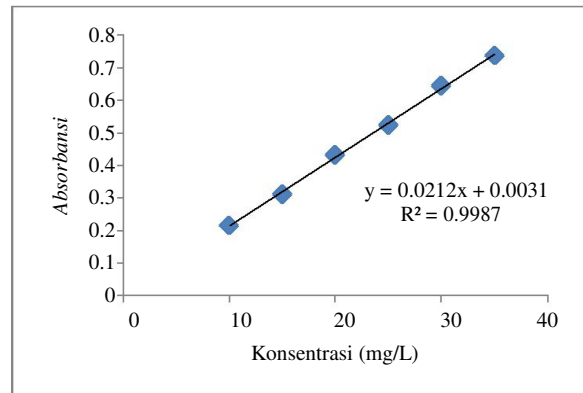
Panjang gelombang maksimum adalah panjang gelombang dimana terjadi transisi elektronik yang memberikan absorbansi yang optimum pada kurva ditandai dengan absorbansi tertinggi. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan pada panjang gelombang 200-800 nm menggunakan spektroskopi UV-Tampak. Hasil menunjukkan bahwa panjang gelombang maksimum *Remazol Golden Yellow RNL* adalah 412 nm.

Penentuan Kurva Kalibrasi

Penentuan kurva kalibrasi suatu analit dilakukan dengan mengamati absorbansi larutan standar pada konsentrasi yang sudah diketahui yaitu 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 ppm. Pembuatan kurva antara absorbansi dengan konsentrasi didapatkan

suatu persamaan yang digunakan untuk menghitung konsentrasi dalam sampel.

Berdasarkan gambar 4 diperoleh persamaan $y=0,0212x+0,0031$ dengan koefisien korelasi mendekati 1.

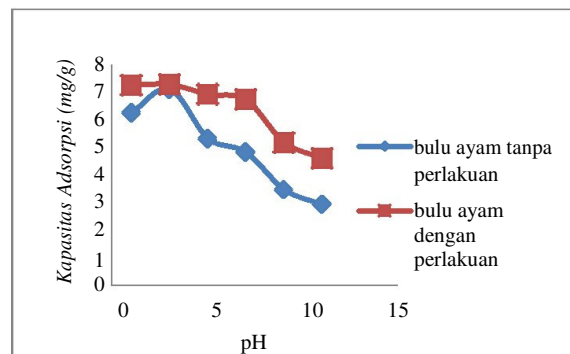


Gambar 3. Kurva Kalibrasi *Remazol Golden Yellow RNL*

Aplikasi

Adsorpsi Zat Warna pada Variasi pH

Adsorpsi pada pengaruh pH dilakukan pada variasi pH 1, 3, 5, 7, 9 dan 11 dengan tujuan mengetahui pH optimum adsorben dalam menyerap zat warna. Pengaruh pH terhadap adsorpsi *Remazol Golden Yellow RNL* yang digambarkan dalam kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi dapat terjadi pada pH asam dan pH basa dengan kapasitas adsorpsi yang berbeda.



Gambar 4. Kurva Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Zat Warna

Nilai kapasitas adsorpsi terbaik adsorben bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan asam formiat terdapat pada pH 3, masing-masing sebesar sebesar 7,111

mg/gr dan 7,288 mg/gr. pH 3 digunakan sebagai pH optimum karena dimungkinkan karena adanya gugus amina dari keratin yang terprotonasi oleh hidrogen (H^+) dari larutan, sehingga menyebabkan besarnya kemampuan keratin untuk berikatan dengan zat warna. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan pH yang lain.

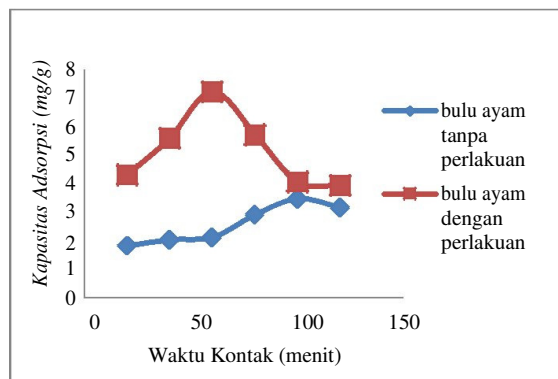
Menurut Sakkayawong, dkk., (2005) dibawah kondisi asam atom-atom hidrogen (H^+) pada larutan dapat memprotonasi gugus amina ($-NH_2$). Sedangkan pada kondisi basa adsorpsi oleh keratin masih dapat terjadi, hal ini dikarenakan pada pH basa gugus hidroksi dari keratin terdeprotonasi. Ikatan *Van der Waals* berperan dalam mekanisme adsorpsi pada suasana basa, dimana interaksi lemah yang terjadi antara gugus azo ($-N=N-$) dari zat warna dengan gugus hidroksi ($-OH$) dari keratin. Kecilnya adsorpsi yang terjadi pada suasana basa dimungkinkan karena adanya molekul air yang mengadakan reaksi dengan molekul zat warna, sehingga memungkinkan terjadinya persaingan antara zat warna dengan gugus $-OH$ bebas.

Adsorpsi Zat Warna pada Variasi Waktu Kontak

Optimasi waktu kontak adsorben dengan larutan zat warna *Remazol Golden Yellow RNL* dilakukan dengan variasi waktu kontak 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 menit. Waktu kontak antara adsorben dan zat warna memungkinkan terjadinya peningkatan penyerapan gugus azo, namun jika terlalu lama maka penyerapan dapat menurun. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kontak dapat mengakibatkan terjadinya desorpsi, yaitu lepasnya kembali gugus azo yang sudah terikat pada gugus aktif adsorben. Waktu kontak terbaik yang dihasilkan setelah proses adsorpsi pada bulu ayam dengan dan tanpa perlakuan masing masing 100 menit dan 60 menit.

Berdasarkan rumus penentuan nilai kapasitas (q), hasil yang didapatkan pada bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan asam formiat masing-masing sebesar 3,479

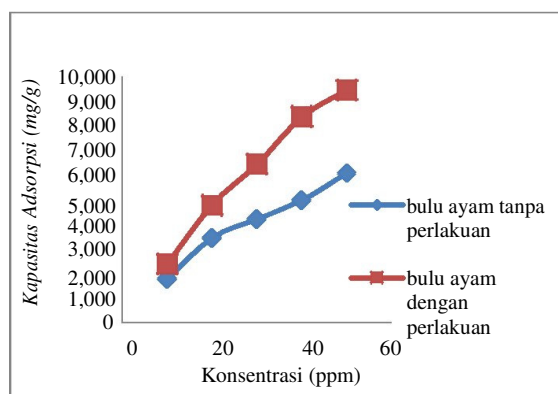
mg/gr dan 7,229 mg/g, sehingga waktu kontak dengan nilai kapasitas tertinggi dapat digunakan sebagai waktu kontak optimum untuk masing-masing perlakuan.



Gambar 5. Kurva Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Zat Warna

Adsorpsi Zat Warna pada Variasi Konsentrasi

Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi *Remazol Golden Yellow RNL* dilakukan pada variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum adsorben dalam menyerap zat warna.

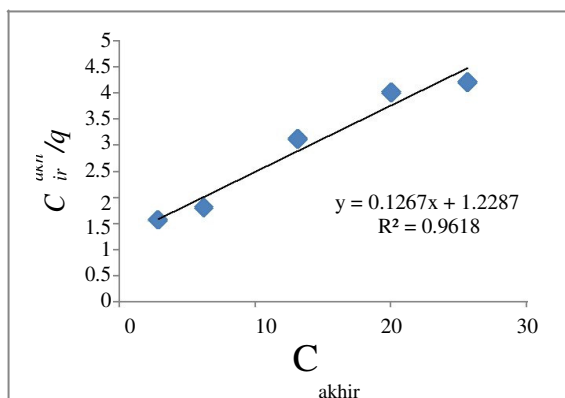


Gambar 6. Kurva Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Zat Warna

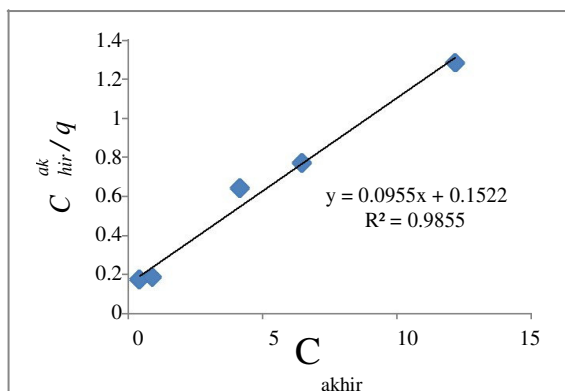
Variasi konsentrasi pada bulu tanpa perlakuan asam formiat dilakukan pada pH dan waktu kontak optimum yaitu pH 3 dan waktu kontak 100 menit, sedangkan variasi konsentrasi pada bulu dengan perlakuan dilakukan pada pH dan waktu kontak optimum yaitu pH 3 dan waktu kontak 60 menit.

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar konsentrasi *Remazol golden yellow RNL*, semakin banyak pula jumlah zat warna yang terserap. Hal ini disebabkan semakin besar konsentrasi zat warna maka semakin banyak molekul yang berinteraksi dengan adsorben.

Dalam penelitian ini belum didapatkan konsentrasi maksimum zat warna yang masih mampu teradsorpsi oleh serbuk biomassa bulu ayam yang ditambahkan asam formiat maupun tanpa penambahan asam formiat. Data yang dihasilkan kemudian diinterpretasikan dengan isotherm adsorpsi *Langmuir* untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum zat warna oleh adsorben biomassa bulu ayam yang ditambahkan asam formiat maupun tanpa penambahan asam formiat.



Gambar 7. Grafik Isotherm Adsorben Tanpa Penambahan Asam Formiat

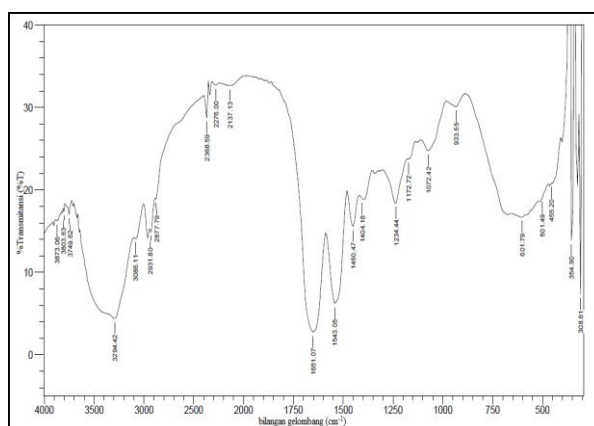


Gambar 8. Grafik Isotherm Adsorben Dengan Penambahan Asam Formiat Berdasarkan persamaan isotherm adsorpsi yang diperoleh maka didapatkan jumlah maksimum *Remazol Golden Yellow*

RNL yang terserap dengan volume 50 mL dan konsentrasi 30 ppm pada 0,2 gram adsorben bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan masing-masing sebesar 7,892 mg/g dan 10,471 mg/g. Hasil kapasitas adsorpsi menunjukkan bulu ayam dengan perlakuan asam formiat mempunyai nilai kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bulu ayam tanpa perlakuan asam formiat sehingga adsorpsi zat warna yang terjadi lebih maksimal.

Karakterisasi Bulu Ayam Setelah Adsorpsi

Hasil analisis bulu ayam dengan spektrofotometer FTIR setelah adsorpsi terlihat pada gambar 10. Berdasarkan hasil spektra bulu ayam setelah mengadsorpsi zat warna tidak terjadi penambahan gugus yang berasal dari zat warna yang diserap.



Gambar 10. Spektra FTIR Bulu Ayam Setelah Adsorpsi

Hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya pergeseran bilangan gelombang pada gugus spektra FTIR bulu ayam sebelum dan setelah adsorpsi. Hal ini menunjukkan adsorpsi yang terjadi antara bulu ayam dan zat warna adalah adsorpsi fisik, dimana zat warna hanya terperangkap pada permukaan atau pori-pori bulu ayam dan tidak membentuk ikatan baru.

KESIMPULAN

Karakterisasi bulu ayam tanpa dan dengan perlakuan asam formiat menggunakan spektrofotometer *FTIR*

menunjukkan adanya gugus utama keratin yaitu amina (NH_2), karboksilat (COOH) dan sulfhidril ($-\text{SH}$). Kedua spektra tidak menunjukkan pergeseran panjang gelombang. Karakterisasi dengan SAA mengalami kenaikan luas permukaan 66,09%, rata-rata pori 29,22% dan total volume pori 114,93%.

Efektifitas adsorpsi zat warna

Remazol Golden Yellow RNL pada volume 50 mL dan konsentrasi 30 mg/L menggunakan bulu ayam tanpa perlakuan asam formiat mencapai kondisi terbaik pada pH 3, waktu kontak 100 menit dan kapasitas adsorpsi maksimum 7,892 mg/g. Sedangkan bulu ayam dengan perlakuan asam formiat mencapai kondisi terbaik pada pH 3, waktu kontak 60 menit dan kapasitas adsorpsi maksimum 10,471 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, 2010, *Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan 2011*, Kementerian Pertanian RI, Jakarta.
- Haurowitz, F., 1984, *Biochemistry An Introduction Text Book*, John Willey and Sons Inc, New York, Chapman and Hall, Limited, London.
- Puastuti, W., 2007, Teknologi Pemrosesan Bulu Ayam dan Pemanfaatannya Sebagai Sumber Protein Pakan Ruminansia, *Laporan Penelitian*, Balai Penelitian Ternak, Bogor.
- Mittal, 2005, Use of hen Feather As Potential Adsorbent For The Removal of A Hazardous Dye, Brilliant Blue FCF, from Wastewater, *Journal of Hazardous Material*, Department of Applied Chemistry, India.
- Mittal, 2006, Adsorption kinetics of removal of a toxic dye, Malachite Green, from wastewater by using hen feathers, *Journal of Hazardous Materials*, Department of Applied Chemistry, India.
- Chowdhury, S., dan Saha P.D., 2012, Biosorption of Methylene Blue From Aqueous Solutions By A Waste Biomaterial: Hen Feathers, *Journal of Biotechnology*, National Institute of technology, India.
- Aluigi, A., M. Zoccola., C.Venies., C.Tonin., F.Ferrero., dan M.Canetti, 2007, Study on the Structure and Properties of wool keratin regenerated from formic acid, *Journal of Biological Macromolecules*, Italy.
- Barone, J.R dan Schmidt W.F., 2006, Effect Of Formic Acid Exposure On Keratin Fiber Derived From Poultry Feather Biomass, *Journal of Bioresource Technology*, USA.
- Ni'mah Y.L., dan Ulfin, I., 2007, Penurunan Kadar Tembaga Dalam Larutan Dengan Menggunakan Biomassa Bulu Ayam, *Laporan Penelitian*, ITS, Surabaya.
- Silverstein, R. M., 1986. *Penyidikan Spektrometrik Senyawa Organik*. Edisi ke-4. Terjemahan A. J. Hartomo dan Anny Victor Purba, Erlangga, Jakarta.
- Villareal, I.A., Petriciolet, A.B., Montoya, V.H., Moran M.A., dan Avila H.R., 2011, Batch and Column Studies Of Zn^{2+} Removal From Aqueous Solution Using Chicken Feathers As Sorbents, *Chemical Engineering Journal*, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Mexico.