

Perancangan Sistem Pengendalian Temperatur Pada *Digester* Pembuatan *Pulp* Tipe *Batch*

Umi Nopitasari*¹, Indah Purnamasari², Aneasari Meidinariasty³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: ¹uminps4@gmail.com

Abstrak

Peningkatan produksi *pulp* dengan kebutuhan bahan baku tidak seimbang, dimana proses pembentukan kayu membutuhkan waktu yang lama, namun produksi *pulp* terus meningkat. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan baku alternatif selain kayu yaitu Tandan kosong kelapa sawit dan pelepah pisang. Proses pemasakan *pulp* sangat menentukan berjalannya proses dan juga berpengaruh terhadap penentuan kualitas *pulp* yang dihasilkan, sehingga dilakukan perancangan sistem pengendalian temperatur *on/off* otomatis sebagai pelengkap pada alat *digester* pembuatan *pulp* tipe *batch* yang mudah dioperasikan, efektif dan aman. Metode penelitian diawali dengan merancang sistem pengendalian temperatur yang meliputi kontroler, *transduser*, termokopel, dan *heater*. Kemudian diuji kinerja pengendalian tersebut dengan pembuatan *pulp*. Parameter penelitian ini ialah variasi suhu dan temperatur di dalam *digester* dengan waktu pengamatan setiap 30 detik pada kondisi temperatur *set point* 100°C, 105°C, 110°C, 115°C dan 120°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan mode pengendali *on/off* otomatis memiliki error pengukuran 0,875°C, histerisis $\pm 1^\circ\text{C}$, *control lag* rata-rata 96 detik dan periode osilasi rata-rata 9,7 menit. Selain itu, penerapan sistem pengendali temperatur melalui pembuatan *pulp* menghasilkan rendeman *pulp* sebesar 52,56% dan kadar selulosa 55,74%.

Kata kunci: *Controller, Digester, Pulp, Sensor, Temperatur.*

Design of Temperature Control System on The Pulp Production Digester of Batch Type

Abstract

The increase in pulp production with the need for raw materials is not balanced, where the wood formation process takes a long time, but pulp production continues to increase. Therefore, alternative raw materials other than wood are needed, namely oil palm empty fruit bunches and banana midribs. The pulp cooking process greatly determines the process and also affects the quality of the pulp produced, so that an automatic on/off temperature control system is designed as a complement to the batch type pulp digester which is easy to operate, effective and safe. The research method begins with designing a temperature control system that includes a controller, transducer, thermocouple, and heater. Then tested the control by making pulp. The parameters of this research are variations in temperature and temperature in the digester with observations every 30 seconds at temperature set point conditions of 100°C, 105°C, 110°C, 115°C and 120°C. The test results show that using an automatic on/off mode controller has a measurement error of 0.875°C, an average hysteresis control lag of 96 seconds and an average oscillation period of 9.7 minutes. In addition, the application of a temperature control system through pulping resulted in a pulp yield of 52.56% and cellulose 55.74%.

Keywords: *Controller, Digester, Pulp, Sensor, Temperature.*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan *pulp* dan kertas menimbulkan kekhawatiran terhadap masalah pelestarian hutan kayu sebagai bahan baku utama pembuatan *pulp* dan kertas. Dimana proses pembentukan kayu membutuhkan waktu yang lama, sedangkan kebutuhan akan kayu terus meningkat. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan terhadap kebutuhan bahan baku kayu. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan baku alternatif pengganti kayu untuk membuat *pulp*. Salah satu tanaman nonkayu yang berpotensi sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan *pulp* yaitu pelepah pisang yang memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi.

Proses pemasakan sangat menentukan berjalannya proses dan juga berpengaruh terhadap penentuan kualitas *pulp* yang dihasilkan, sehingga dilakukan rancang bangun alat *digester* yang mudah dioperasikan, efektif

dan aman, dengan cara menambahkan kontroller ON-OFF sebagai alat utama pada proses pembuatan pulp. *Digester* merupakan alat utama pada proses pembuatan *pulp*. Alat ini sebagai tempat atau wadah dalam proses delignifikasibahan baku dengan menggunakan larutan kimia alkali NAOH didalam digester. Mekanisme kerja proses delignifikasi ini ialah cairan pemasak, *steam* dan bahan penolong lainnya.

Penerapan sistem pengendali bisa diterapkan pada skala laboratorium terlebih dahulu agar dapat diuji kinerjanya pada sistem pengendalian tersebut, karena seringkali perancangan sistem pengendalian kurang terlalu memperhatikan aspek kinerja dari sistem. Pemantauan yang teliti terhadap kinerja peralatan maupun proses merupakan hal yang penting karena dapat menambah efisiensi perawatan peralatan serta dapat mendeteksi proses yang tidak bekerja dengan baik [1].

Sistem pengendalian temperatur yang akan dirancang menggunakan kontroler, transduser, temperatur, dan pemanas. Parameter penelitian ini ialah variasi waktu dan temperatur di dalam *digester*, dengan waktu pengamatan setiap 30 detik pada kondisi temperatur *set point* 100°C, 105°C, 110°C, 115°C, dan 120°C. Pengendalian diterapkan pada digester tipe batch berkapasitas maksimum 5,5 liter dengan memanfaatkan kontroller ON-OFF sebagai pengatur temperatur pada pembuatan pulp.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan eksperimen. Metode rancang bangun dilakukan untuk perancangan serta alat pembuatan *pulp*. Metode eksperimen dilakukan untuk pengujian kinerja *digester* untuk mengetahui kinerja alat pembuatan *pulp* yang ditinjau dari temperatur pada *digester*. Uraian waktu dan tempat penelitian adalah sebagai berikut:

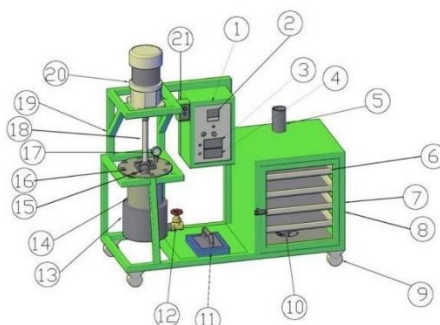
2.1. Pendekatan Desain Fungsional

Pada pendekatan ini rancang bangun *digester* dan sistem pengendalian temperaturnya terdiri dari beberapa komponen dengan fungsinya masing-masing, diantaranya adalah elemen pemanas (*heater*), digunakan untuk menghasilkan panas. Pengaduk, digunakan untuk mengaduk selama proses pemasakan. Termokopel tipe K, berfungsi untuk mengukur temperatur proses. *Thermocontrol* atau kontrol suhu adalah proses dimana perubahan suhu ruang dapat diukur atau terdeteksi dan bagian dari energi panas yang ke dalam atau keluar dari ruang disesuaikan untuk mencapai suhu rata-rata yang diinginkan. *Pressure gauge*, berfungsi untuk mengukur tekanan proses. *Tacometer*, digunakan untuk control putaran.

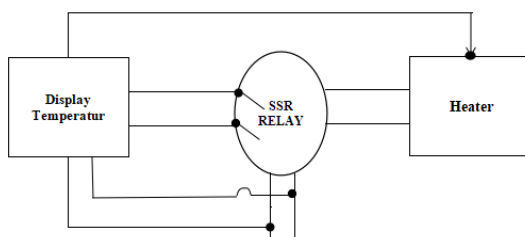
2.2. Pendekatan Desain Struktural

Keterangan:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Control Panel | 12. Katup <i>Digester Pulp</i> |
| 2. LCD Temperatur <i>Digester Pulp</i> | 13. <i>Band Heater</i> |
| 3. LCD rpm Pengaduk | 14. <i>Digester Pulp</i> |
| 4. LCD Temperatur Oven | 15. Tutup <i>Digester</i> |
| 5. Cerobong | 16. Sekrup Pengunci |
| 6. Rak | 17. <i>Pressure Gauge</i> |
| 7. <i>Heater</i> | 18. Batang Pengaduk |
| 8. <i>Termokopel</i> | 19. Kerangka <i>Motor Impeller</i> |
| 9. Roda | 20. <i>Impeller</i> |
| 10. <i>Blower</i> | 21. <i>Speed Control</i> |
| 11. Cetakan | |



Gambar 1. Prototype Alat Pembuatan Pulp



Gambar 2. Skema Pengendalian Temperatur Alat Digester

2.3. Pertimbangan Percobaan

2.3.1. Tempat dan Waktu

Rancang bangun pembuatan alat *digester* pembuatan *pulp* tipe *batch* dilaksanakan pada tanggal 2 Mei - 3 Juli 2021 dan pengujian alat dan pengambilan data dilakukan pada tanggal 6 Juli - 16 Juli 2021 di Laboratorium *Pilot Plant* dan Satuan Proses Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

2.3.2. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada proses perancangan sistem pengendalian temperatur pada alat *digester pulp* tipe *batch* terbagi menjadi dua, yaitu bahan yang digunakan pada panel pengendali dan bahan yang digunakan pada pembuatan kerangka pada panel tambahan. Bahan yang digunakan pada panel pengendali meliputi, 1 unit modul temperatur, 1 unit termokopel tipe K, 1 unit SSR 40 amp/220 volt dan 1 Unit Box Panel. Bahan yang digunakan pada pembuatan kerangka pada panel tambahn meliputi, 1 unit plat besi baja ringan, 2 unit engsel siku serta baut, mur, dan paku secukupnya. Alat yang digunakan dalam pembuatan panel pengendali meliputi obeng, gergaji besi, meteran, bor listrik, dan mesin las.

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian pengendalian temperatur meliputi 1 unit alat *digester* pembuatan *pulp* serta sistem pengendaliannya, 1 buah baskom, 1 buah saringan dan kain, 2 buah gelas kimia 250 ml, 1 buah *stopwatch*, 1 buah neraca analitik, 2 buah cawan porselen, 1 buah labu takar 1 lt, 142 gr bubuk TKKS, 190 gr bubuk pelepah pisang, 648 gr NaOH 9%, dan 3,4 lt aquadest.

2.3.3. Perlakuan dan Analisis Statistik Sederhana

Sistem pengendali suhu pada alat *digester* pembuatan *pulp* beroperasi pada rentang temperatur 100 - 120°C. Kecepatan pengaduk diatur konstan yaitu 95 rpm. Variabel yang diambil terdiri dari variabel tetap dan variabel tidak tetap. Data variabel tidak tetap berupa suhu, kemudian akan dianalisa guna mengetahui kinerja sistem pengendalian berupa kestabilan pengendalian, sedangkan untuk menguji sistem pengendalian terhadap produk *pulp*, maka akan dilakukan percobaan pembuatan *pulp* dengan sistem pengendalian yang diterapkan. Pengujian diawali dengan persiapan bahan baku dan zat tambahan berupa NaOH. Pada percobaan ini telah ditetapkan variabel tetap berupa *set point* suhu sebesar 120°C dan Waku pemasakan 120 menit. Parameter-parameter ini kemudian akan digunakan untuk menentukan periode osilasi.

2.3.4. Prosedur Penelitian

a. Perakitan Alat Digester Pembuatan Pulp dan Sistem Pengendalian Temperatur

Alat dan bahan dipersiapkan untuk membuat alat pembuat *pulp*. Kerangka pembuatan *digester* dibuat dengan material *stainless steel* dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Kemudian memasang tutup pada bagian atas agar mencapai kondisi vakum. Lalu memasang *heater*, *pressure gauge*, termokopel dan *thermocontrol* serta *tacometer*. Dilanjutkan dengan memasang *control panel* yang terdiri dari saklar, tombol on/off dan *display* (temperatur pada *digester* dan *dryer* serta putaran).

b. Preparasi Sampel Pulp

Sampel tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan pelepah pisang dibersihkan, lalu dipotong menjadi ukuran kecil, kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kering. Sampel yang telah kering dihaluskan menggunakan *crusher* hingga didapatkan hasil berbentuk serbuk. Menimbang serbuk TKKS dan pelepah pisang dengan perbandingan (1:2) atau berturut-turut 142 gr dan 190 gr, dilanjutkan dengan menimbang padatan natrium hidroksida (NaOH) sebanyak 648 gr yang dilarutkan dalam 3400 ml *Aquadest* untuk membuat larutan NaOH 9%. Campuran sampel ini dimasukkan ke dalam *digester*, kemudian dimasak dengan temperatur

pemasakan 120° C selama 120 menit. Setelah proses pemasakan, mendinginkan sampel, lalu menyaring dan juga mencuci hasil pemasakan yang berupa lindi hitsm (*black liquor*) dan *raw pulp*.

c. Pengujian Sistem Pengendalian Temperatur

Setelah Prosedure pembuatan alat pembuat *pulp* dilakukan, memasukkan nilai harga variasi set point (100°C 105°C 110°C 115°C 120°C). Lalu Mempersiapkan *stopwatch*, dan mencatat nilai variabel pengukuran (nilai TC) di layar temperatur. Memulai *stopwatch* bersamaan dengan menghubungkan kabel heater. Mencatat power output dan temperatur per satuan waktu hingga temperatur mencapai set poin kembali, serta amati lampu indikator.

d. Pengujian Kadar Selulosa (SNI 0492, 2008)

Menimbang 1 gram pulp kering hasil delignifikasi (berat konstan) dimasukkan dalam Erlenmeyer 250 ml dan ditambah aquades 150 ml. kemudian dipanaskan selama 2 jam di dalam penangas pada suhu 100°C. Melakukan penyaringan dan pencucian dengan aquades sampai volume filtrate 300 ml. Kemudian residu dikeringkan pada oven bersuhu 105°C hingga diperoleh berat konstan (a). Memasukkan residu kering (a) kedalam Erlenmeyer 250 ml ditambah 150 ml H2SO4 1 N, kemudian dipanaskan pada penangas air pada suhu 100°C selama 1 jam. Dilakukan penyaringan dan residu di cuci dengan aquades sampai volume filtrate 300 ml. residu yang diperoleh dikeringkan hingga beratnya konstan dan ditimbang (b). Memasukkan residu kering (b) kedalam Erlenmeyer 250 ml dan ditambahkan H2SO4 72% sebanyak 10 ml. direndam selama 4 jam pada suhu kamar kemudian ditambahkan 150 ml H2SO4 1 N (untuk pengenceran), dipanaskan dalam penangas air pada suhu 100°C selama 2 jam. melakukan penyaringan dan dicuci dengan aquades hingga volume filtrate 400 ml. residu dikeringkan hingga beratnya konstan dan ditimbang (c).

$$\%Selulosa = \frac{b-c}{\text{berat sample}} \times 100\% \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perbandingan Pengukuran Termometer Raksa dan Termokopel

Parameter kontrol adalah variabel dinamis yang berhubungan langsung dengan controller sebagai sistem pengendali. Oleh karena itu, perlu diketahui parameter kontrol yang dihasilkan oleh sistem pengendali.

Tabel 1. Parameter Kontrol Sistem Pengendalian

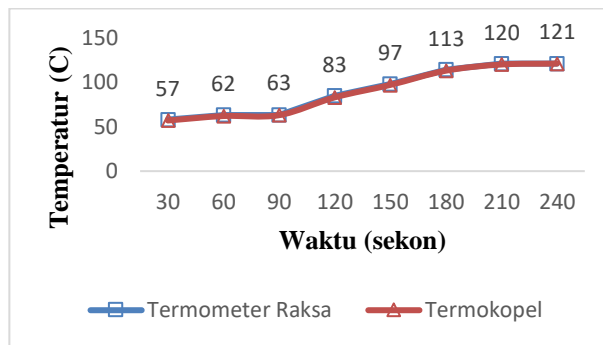
No	Parameter Kontrol	Hasil
1	Rentang Variabel Kontrol	100-120
2	Error (E)	± 0,875
3	Histerisis	±1
4	Daerah Netral	2%
5	Output Controller (%P)	0 - 100 %
6	Control Lag (detik)	96
7	Periode Osilasi (Menit)	9,7

3.2. Perbandingan Pengukuran Termometer Raksa dan Termokopel

Dalam perancangan suatu sistem pengendalian, penggunaan dan perawatan sensor harus lebih diutamakan karena sensor memiliki tingkat sensitifitas perubahan yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, dalam pengendalian ini dilakukan perbandingan pengukuran terlebih dahulu antara termometer raksa (kalibrator) dengan termokopel tipe-K. Kalibrasi bertujuan untuk menentukan deviasi kebenaran dari instrumen pengukuran. Selain itu, agar pengukuran yang diberikan sensor temperatur akurat/mendekati pembacaan dari kalibrator. Proses kalibrasi untuk sensor suhu dengan cara membandingkan pengukuran antara sensor temperatur termokopel dan termometer raksa.

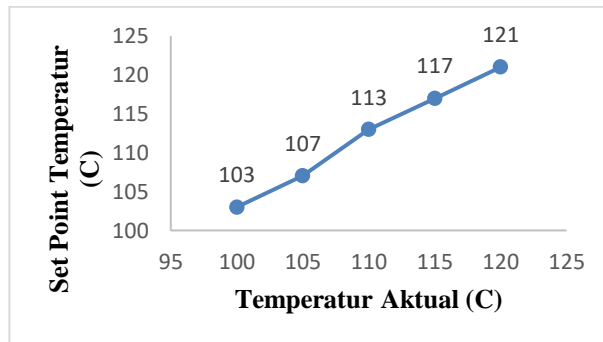
Dari gambar 1, dapat dilihat bahwa pengukuran menggunakan termokopel memiliki selisih pengukuran rata-rata sebesar ±0.875°C dengan selisih pengukuran tertinggi sebesar 3°C. Selisih pengukuran ini dapat terjadi karena rangkaian *direct current* dengan menggunakan *op-amp* cenderung lebih rentan terhadap perubahan temperatur yang dapat mengganggu keseimbangan *op- amp* yang telah diatur sebelumnya akibatnya pada keluaran sering terjadi kesalahan walaupun kesalahannya kecil hanya sebatas mikrovolt yang nantinya dikonversi menjadi derajat celcius [2].



Gambar 3. Grafik Perbandingan Pengukuran Termometer Raksa dan Termokopel tipe K

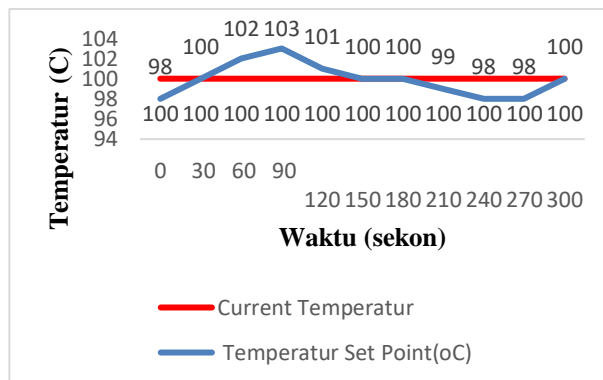
3.3. Uji Pengendalian Temperatur

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa temperatur setelah dikendalikan memang memiliki error $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$, hal ini dikarenakan pemberian efek histerisis tersebut sehingga pada saat suhu telah mencapai *set point*, suplai panas tidak akan langsung terputus tetapi perlahan-lahan akan tetap menurun hingga akhirnya terputus penuh.



Gambar 4. Grafik Pengendalian Temperatur

3.4. Uji Kestabilan Temperatur



Gambar 3. Grafik Kestabilan pengendalian temperatur pada suhu 100°C

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa pada temperatur awal 98°C terjadi *rise time* waktu pemanasan, hal ini terjadi karena transduser suhu mengukur temperatur cairan didalam tangki masih lebih rendah daripada temperatur *set point*. Faktor lain yang menyebabkan kenaikan temperatur adalah pada saat pemanas sudah dalam posisi *off*, otomatis terjadi penurunan temperatur karena heater mati. Terlebih lagi memang benar bahwa laju pemanasan 2°C/menit lebih tinggi dibanding laju pendinginan sebesar 1,33°C/menit.

Kenaikan dan penurunan temperatur ini terjadi karena adanya *control lag* atau keterlambatan transduser suhu dalam mengukur suhu didalam tangki sehingga mengakibatkan sinyal kontrol yang akan dikirim ke *controller* terlambat dan berimbas juga pada perintah yang akan diberikan pada elemen kontrol akhir.

Dari Gambar 3, grafik membentuk gelombang sinoidal, idealnya nilai variable proses akan tetap terkendali dan selalu sama dengan *set point*, namun pada praktiknya kondisi ideal sangat sulit dicapai dan hanya bisa mendekati kondisi ideal saja. Variable proses dapat mengalami perubahan seperti yang ditunjukkan grafik diatas, bahwa grafik setelah mencapai *set point* perubahannya tidaklah linier dan sempurna. Sehingga perancangan pengendalian suhu ini dapat dikategorikan dalam tanggapan transien osilasi kontinu dengan sistem regulasi diri orde dua teredam.

Sistem regulasi diri orde dua teredam memiliki ciri respon berupa *overshoot* yang melewati titik *steady-state* dan diikuti osilasi dengan amplitudo yang awalnya besar namun berangsur mengecil [3].

3.5. Uji Sistem Pengendalian Temperatur Melalui Pembuatan *Pulp*

Menurut Fariati (2016), semakin tinggi rendeman yang diperoleh, maka konversi pulp yang diperoleh akan semakin tinggi pula [4]. Berdasarkan penelitiannya, kondisi optimum yang diperoleh berada pada suhu 120°C, waktu pemasakan 60 menit, konsentrasi larutan pemasak NaOH 9% dan perbandingan massa pelepah pisang, tandan kosong kelapa sawit dan larutan pemasak berturut-turut 2 : 1 : 5, dimana rendeman pulp yang dihasilkan sebesar 45,57% dan kadar selulosa 47,14%. Sedangkan peneliti melakukan penelitian dengan suhu operasi 120°C selama 120 menit menggunakan larutan pemasak NaOH 9% dengan perbandingan massa pelarut aquades dengan bahan baku berturut-turut 9:1 dan pelepah pisang : TKKS berturut-turut 2:1. Dari uji analisis berdasarkan parameter tersebut, didapatkan rendeman pulp 52,56%, kadar air 14%, kadar hemiselulosa 18,67%, kadar selulosa 55,74% dan kadar lignin sebesar 13,56%.

Berdasarkan perbandingan hasil penelitian dan penelitian yang dilakukan oleh fariati, bahwa suhu operasi dengan pengendalian menghasilkan konversi pulp yang lebih tinggi, yaitu 52,56%. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan pengendali kestabilan proses kimia dapat terjaga dan termonitoring secara otomatis.

4. KESIMPULAN

Unit sistem pengendalian temperatur *on/off* secara otomatis yang dirancang berhasil dibangun dan beroperasi dengan baik sebagai kontrol dalam pengendalian temperatur pada alat digester pembuatan pulp tipe *batch* berdasarkan input yang dimasukkan dan diperoleh nilai rata-rata periode osilasi yaitu $PO = 9,7$ menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Meidinariasty and Yuniar, "Pengendalian Proses," Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2019
- [2] D. Indah, "Perancangan dan Uji Kinerja Sistem Pengendalian Temperatur *Microferm Fermentor*," *Jurnal Kinetika*, vol. 9, no. 2, pp. 16-24, 2018.
- [3] Heriyanto, "Pengendalian Proses," Bandung, Politeknik Negeri Bandung, 2011.
- [4] I. Bayusari, Caroline, R. Septiadi and B. Y. Suprpto, "Perancangan Sistem Pemantauan Pengendali Suhu pada *Stirred Tank Heater* Menggunakan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 10, no. 3, pp. 153-159, 2013.
- [5] I. Fariati, "Pengaruh Konsentrasi Larutan Pemasak dan Lama Pemasakan Pada Proses *Delignifikasi* Campuran Pelepah Pisang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit," Tesis, 2016.