

# Pengembangan Sistem Pengendali Suhu Pada Heater Reaktor Auger Untuk Proses Pirolisis Cepat Cangkang Sawit

Izarul Machdar<sup>1)</sup>, Firmansyah<sup>2)</sup>, Bastian Arifin<sup>3)</sup>, M. Faisal<sup>4)</sup>, Hamdani<sup>5)</sup>, Umi Fathanah<sup>6)</sup>

<sup>1,2,3,4,6)</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh-Indonesia

<sup>5)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh-Indonesia

## Abstrak

Penelitian pirolisis cepat kontinyu cangkang sawit dengan menggunakan reaktor auger telah dilakukan untuk menghasilkan bio-oil. Unit reaktor auger dilengkapi dengan sistem pengendali suhu pada elemen pemanas untuk mengendalikan suhu pada reaktor. Proses pengendali suhu menggunakan PID kontrol. Tujuannya untuk menjaga suhu pada auger reaktor tetap stabil dalam kondisi steady dengan *set point* yang telah ditentukan. Penentuan nilai konstanta  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dari PID kontrol menggunakan *ziegler-nicolse open loop method*. Penelitian ini juga melihat pengaruh suhu dan kecepatan putaran motor terhadap jumlah bio-oil yang dihasilkan. Batasan dari penelitian ini menggunakan 2 variasi suhu, yaitu 400°C dan 450°C, variasi kecepatan putaran motor pada bak penampung bahan baku, yaitu 18 rpm, 25 rpm, 32 rpm dan putaran motor pada reaktor auger tetap, yaitu 12 rpm dengan waktu tinggal 15 menit. Hasil pengembangan sistem pengendali menunjukkan suhu stabil tanpa fluktuasi (osilasi) dan *overshoot* suhu pada reaktor auger saat sudah mencapai *set point*, terjadi error perubahan suhu sebesar  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Hasil bio-oil tertinggi diperoleh pada kondisi suhu 450°C dengan kecepatan putaran motor pada bak penampung bahan baku sebesar 32 rpm.

**Kata kunci:** *cangkang sawit, bio-oil, , pirolisis cepat, auger reaktor, proses kontrol, PID kontrol, Ziegler-nicolse method*

## 1. Pendahuluan

Propinsi Aceh merupakan salah satu propinsi yang memiliki potensi biomassa yang sangat potensial tetapi belum ada pemetaan yang jelas dalam pengelolaan dan pemanfaatan biomassa tersebut. Salah satu biomassa yang potensial adalah cangkang sawit. Cangkang sawit berasal dari limbah pengolahan pabrik kelapa sawit. Cangkang sawit dapat dimanfaatkan menjadi produk lainnya yang memiliki nilai jual dan nilai tambah yang lebih tinggi dengan cara mengkonversi cangkang sawit menjadi bio-oil, biochar dan biogas. Bio-oil dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, bahan pengumpul karet, dan pengawet makanan, sedangkan biochar (arang aktif) bisa dimanfaatkan untuk penyerapan limbah logam berat berbahaya[1][2].

Salah satu proses yang digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bio-oil, biochar dan biogas adalah pirolisis[3][4]. Ada empat metode yang terdapat pada pirolisis ini yaitu pirolisis lambat, pirolisis sedang, pirolisis cepat dan gasifikasi[4]. Setiap perbedaan metode tersebut mempengaruhi jumlah produksi dari

bio-oil, biochar dan biogas. Jumlah produksi hasil dari pirolisis lambat sekitar 35% biochar, 30% bio-oil, dan 35% biogas. Gasifikasi menghasilkan sedikit biochar atau bio-oil yaitu sekitar 5% - 15%. Pirolisis cepat adalah sistem yang dirancang untuk memaksimalkan jumlah produksi bio-oil. Hasil produk pirolisis ini biasanya 50% - 70% bio-oil, 10% - 30% biochar dan 15% - 20% biogas[5].

Penelitian ini dilakukan menggunakan proses pirolisis cepat untuk memaksimalkan hasil dari bio-oil. Pada dasarnya proses pirolisis cepat identik dengan menggunakan suhu tinggi. Proses yang menggunakan suhu tinggi bisa menyebabkan sistem tersebut tidak berjalan dengan stabil apabila suhu tidak di kontrol karena dapat mengakibatkan terjadinya fluktuasi (osilasi) suhu. Terjadinya osilasi pada suhu tinggi akan menimbulkan penyimpangan suhu yang sangat besar dari *set point* yang diharapkan hal ini dianggap tidak baik bagi sebuah sistem yang kompleks karena suhu berpengaruh terhadap kualitas produk [6]. Osilasi suhu bisa terjadi dikarenakan elemen pemanas tidak memakai sistem kontrol yang baik dan benar.

Pada penelitian ini dikembangkan proses kontrol suhu pada mesin pirolisis cepat cangkang sawit menggunakan reaktor auger.

Beberapa metode proses kontrol yang dapat digunakan untuk mengendalikan suhu diantaranya menggunakan PID kontrol, fuzzy logic kontrol, neural network kontrol, on-off kontrol, fuzzy-PID kontrol dan sebagainya. Tetapi pada penelitian ini fokus menggunakan PID kontrol. Algoritma PID kontrol masih merupakan solusi utama untuk mengontrol proses analog pada suatu *plant* dalam industri. Penggunaan PID ini tidak akan berubah dalam waktu dekat karena banyak industri yang masih menggunakan algoritma PID [7] dan algoritma PID kontrol menjadi bagian yang sangat penting dalam mengendalikan proses industri [8]. Alasan pemilihan PID kontrol pada penelitian ini karena algoritma PID baik digunakan untuk mengontrol sistem yang linear [9] dan penggunaan algoritma PID kontrol ini tidak perlu memiliki kemampuan matematika yang baik karena PID kontrol mudah untuk di implementasikan. PID kontrol telah menjadi metode utama *close loop control* untuk mengendalikan proses industri sejak awal sistem otomatisasi digunakan. PID menyediakan antarmuka yang konsisten dan nyaman bagi operator. PID kontrol banyak digunakan untuk mengontrol suhu pada reaktor biologi, reaktor kimia, proses kristalisasi, proses distilasi proses evaporasi dan sebagainya [10].

Tujuan penelitian ini melakukan pengembangan sistem pengendali suhu pada *heater auger reaktor* untuk menjaga suhu pada auger reaktor tetap stabil dalam kondisi *steady* dengan *set point* yang telah ditentukan menggunakan PID kontrol. Penentuan nilai konstanta  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dari PID kontrol menggunakan *ziegler-nicolse open loop method*. Penelitian ini juga melihat pengaruh suhu dan kecepatan putaran motor terhadap jumlah bio-oil yang dihasilkan. Selanjutnya melihat hasil kestabilan suhu pada auger reaktor dari proses kontrol suhu yang telah dibuat. Manfaat penelitian ini dapat menjadi referensi dalam merancang mesin industri skala besar penghasil bio-oil menggunakan auger reaktor dengan proses pirolisis cepat dalam pemilihan sistem pengendalian suhu.

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada laboratorium Jurusan Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala. Tahap-tahap pada penelitian diberikan di bawah ini.

### 2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah cangkang sawit, air, es batu dan gas nitrogen. Alat-alat yang dipersiapkan adalah HP agilent 3790 A *data logger system*, termokopel tipe K, *temperature control*, *variable speed drive motor*, trafo step down 220 ke 110 v, timbangan, saringan, *gas flow control*, penghancur cangkang sawit, motor listrik dan pompa air.

### 2.2 Persiapan Bahan Baku

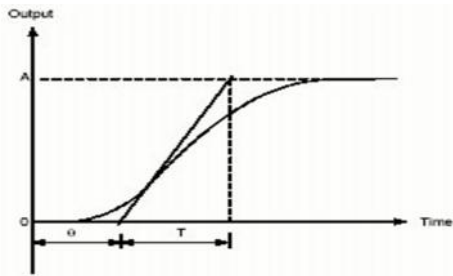
Proses persiapan bahan baku dimulai dari pengambilan bahan baku, pembersihan, pengecilan ukuran bahan baku menjadi ukuran 1mm – 2mm.

### 2.3 Kalibrasi Kecepatan Putaran

Tahap ini dilakukan kalibrasi kecepatan putaran motor pada bak penampung bahan baku dan reaktor auger. Kalibrasi ini dilakukan untuk menentukan hubungan putaran auger dengan laju massa bahan baku.

### 2.4 Proses Kalibrasi Suhu Manual dan Proses Kontrol Suhu Menggunakan PID Kontrol

Kalibrasi suhu dilakukan untuk mendapatkan profil perubahan suhu yang digunakan untuk mengkalkulasi nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  dari PID kontrol. Untuk mengkalkulasi nilai parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols kurva reaksi (*open loop method*) [11][12]. Dari profil suhu tersebut terlebih dahulu dicari nilai L dan T. Pencarian nilai L dan T ditentukan dengan mengacu pada Gambar 1 di bawah ini. L adalah waktu yang dibutuhkan pada saat awal terjadi perubahan dan T adalah waktu yang dibutuhkan sistem mencapai *set point*.



Gambar1. Kurva reaksi (*open loop method*) Ziegler Nichols

Selanjutnya mencari nilai  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dengan mengacu pada persamaan di bawah ini.

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} \dots\dots\dots(1)$$

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$T_i = 2 \times L \dots\dots\dots(3)$$

$$T_d = 0.5 \times L \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

$K_p$  : Konstranta proporsional

PB : Proporsional band

$T_i$  : Waktu integratif

$T_d$  : Waktu derivatif

2.5 Set Point Suhu Auger Reaktor

Pada saat awal, reaktor auger dipanaskan sesuai *set point* yang telah ditentukan. Apabila suhu sudah mencapai *set point*, selanjutnya bahan baku mulai dimasukkan kedalam auger reaktor.

2.6 Set Point Laju Alir Nitrogen

Nitrogen dialirkan setelah 15 menit elemen pemanas diaktifkan. Fungsinya untuk mendesak semua oksigen yang berada di dalam mesin agar keluar, sehingga yang berada di dalam mesin hanya gas nitrogen. Laju alir nitrogen ini di *setting* sebesar 2 liter / menit.

2.7 Sirkulasi Air Pada Kondensor

Pada saat suhu mencapai 200°C, selanjutnya menghidupkan pompa air untuk mengalirkan air ke dalam kondensor. Tujuannya untuk menyerap energi panas asap sehingga terjadi penurunan suhu yang menyebabkan asap akan mencair.

2.8 Hidupkan Putaran Motor

Setelah suhu mencapai *set point*, selanjutnya proses menghidupkan putaran motor pada bak penampung bahan baku dan auger reaktor.

2.9 Desain Percobaan dan Perhitungan Hasil

Pada Tabel 1 di bawah ini mendefenisikan batasan-batasan dalam melakukan percobaan.

Tabel 1. Propertis percobaan

No	Faktor	Keterangan
1	Tipe Biomassa	Cangkang sawit
2	Ukuran Biomassa	1 - 2 mm
3	Kecepatan motor pada bak penampung bahan baku	18 - 32 rpm
4	Laju bahan baku	1 - 1,6 kg/jam
5	Laju alir nitrogen	2 liter / menit
6	Suhu	27°C
7	Putaran kecepatan motor pada reaktor auger	12 rpm
8	Suhu	400°C-450°C

Setelah didapatkan produk, selanjutnya melakukan perhitungan untuk mencari:

- Hasil menggunakan basis massa (gram) dan basisi % antara bio-oil, biochar.
- Hasil bio-oil menggunakan basis massa (gram) dan basis % antara bio-oil yang dihasilkan dari kondensor 1, 2 dan 3

Perhitungan yield bio-oil dan biochar dilakukan dengan cara menimbang menggunakan timbangan.

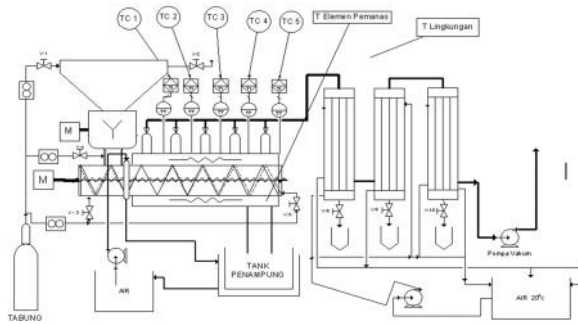
Tabel 2 di bawah ini menunjukkan jenis-jenis perlakuan yang dilakukan pada penelitian ini.

Tabel 2. Jenis-jenis perlakuan

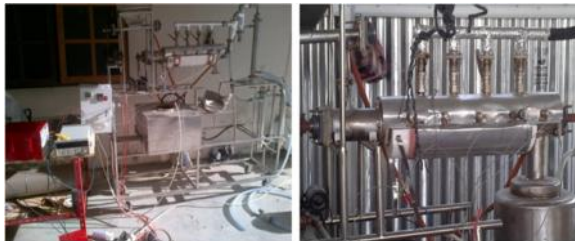
Perlakuan	Kecepatan Putaran Motor		Suhu (°C)	Waktu (menit)
	Bak Bahan Baku (rpm)	Auger Reaktor (rpm)		
1	18	12	400	15
2	25	12	400	15
3	32	12	400	15
4	18	12	450	15
5	25	12	450	15
6	32	12	450	15

2.10 Desain alat

Mesin konversi biomassa menjadi bio-oil dan biochar dirancang seperti Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 2. Desain alat



Gambar 3. Mesin pirolisis cepat

### 3. Analisa Percobaan

#### 3.1 Hasil Kalibrasi Kecepatan Putaran Motor

Tabel 3. Kalibrasi kecepatan putaran motor dilakukan selama 7 menit.

Percobaan Ke-	Kecepatan Putaran Motor Auger Reaktor 12 Rpm Selama Waktu 7 menit		
	Kecepatan Putaran Motor Pada Bak Penampung Bahan Baku		
	18 rpm	25 rpm	32 rpm
	Hasil (gram)	Hasil (gram)	Hasil (gram)
1	130	140	190
2	120	150	180
3	125	148	170
4	115	140	200
5	120	140	180
6	120	145	190
7	135	140	180
8	125	155	195
9	130	150	200
10	130	155	195
Total	1250	1463	1880
Rata-rata	125	146,3	188
Laju alir bahan baku	17.8 gram/menit	20.9 gram/menit	26.8 gram/menit
	1,06 kg/jam	1.25 kg/jam	1.60 kg/jam

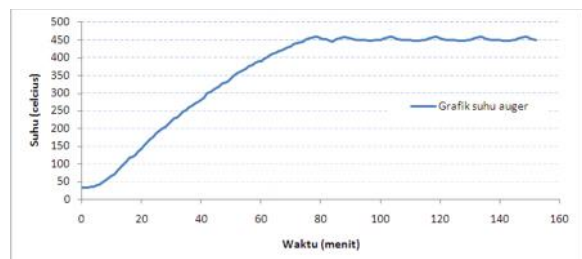
Tabel 3 di atas, terlihat perubahan kecepatan motor terhadap laju alir linier. Semakin besar kecepatan putaran motor maka semakin besar pula laju alir cangkang sawit yang didapat.

#### 3.2 Percobaan Proses Pemanasan Pada Auger Reaktor dan Elemen Pemanas Tanpa Bahan Baku

Gambar 4 dan Gambar 5 di bawah ini merupakan profil suhu proses pemanasan manual pada auger reaktor dan elemen pemanas sebelum dilakukan proses kontrol suhu. Terlihat terjadinya osilasi suhu pada saat mencapai set point 450°C. Osilasi tersebut terjadi karena tidak ada sistem kontrol suhu pada elemen pemanas.



Gambar 4. Grafik suhu pada elemen pemanas dan auger reaktor dengan set point 450°C



Gambar 5. Grafik suhu pada auger reaktor dengan set point 450°C

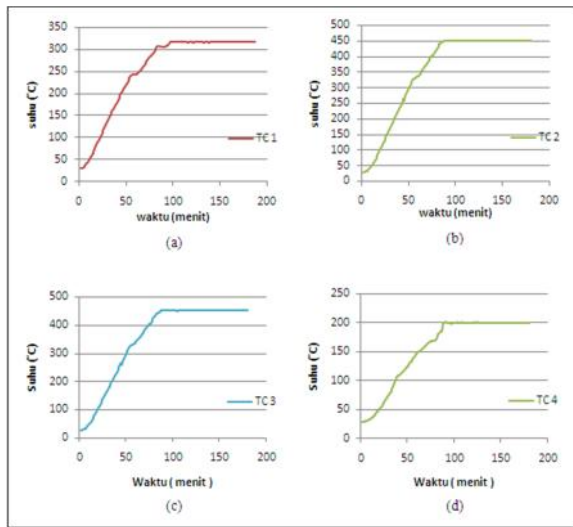
#### 3.3 Hasil Kalkulasi Nilai Kp, Ti, Td untuk PID kontrol Sistem

Hasil dari pencarian nilai tersebut didapat nilai  $K_p = 42$ ,  $PB = 2,3\%$ ,  $T_i = 240$  detik dan  $T_d = 60$  detik. Selanjutnya nilai-nilai dari parameter PID tersebut diprogram ke dalam alat kontrol suhu.

#### 3.4 Profil Suhu Setelah Dilakukan Proses Kontrol Suhu

Gambar 6 di bawah ini menunjukkan profil suhu pada auger reaktor dan elemen pemanas selama percobaan menggunakan bahan baku cangkang sawit set point 450°C. Terlihat dari masing-masing suhu lebih stabil pada saat sudah

mencapai *set point*. Tidak terjadinya osilasi suhu dan *overshoot* saat sudah mencapai *set point* setelah diterapkan proses kontrol suhu.



Gambar 6. Profil suhu pada auger reaktor setelah dilakukan proses kontrol, a) Profil suhu pada TC 1 auger reaktor, b) Profil suhu pada TC 2 auger reaktor, c) Profil suhu pada TC 3 auger reaktor, d) Profil suhu pada TC 4 auger reaktor,

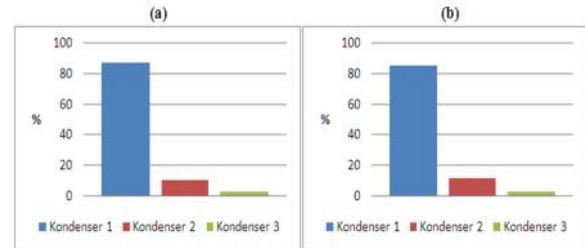
### 3.5 Hasil Percobaan

Setelah dilakukan percobaan, didapatkan hasil dari bio-oil dan biochar. Untuk menghitung jumlah bio-oil dan biochar dilakukan dengan cara menimbang menggunakan timbangan.

Dari perlakuan 1 sampai 3 dengan suhu 400°C selama 15 menit setiap percobaan dengan laju alir bahan baku antara 1.06 kg/jam sampai 1.6 kg/jam, didapat bio-oil sebesar 101.9 gram sampai 161.7 gram dan biochar sebesar 94 gram sampai 136 gram.

Kemudian dari perlakuan 4 sampai 6 dengan suhu 450°C selama 15 menit setiap percobaan dengan laju alir bahan baku antara 1.06 kg/jam sampai 1.6 kg/jam, didapat bio-oil sebesar 116.4 gram sampai 183.3 gram dan biochar sebesar 80 gram sampai 120 gram

Gambar 7 di bawah ini menunjukkan hasil perbandingan yield bio-oil pada setiap kondensor pada suhu 400°C dan 450°C..



Gambar 7. Perbandingan yield bio-oil pada setiap kondensor, a) Pada suhu 400°C, b) Pada suhu 450°C

Dari gambar 7 di atas bahwa hampir 85% bio-oil dihasilkan dari kondensor 1 baik pada suhu 400°C dan 450°C. Tetapi sangat berbanding terbalik dengan kondensor 2 dan 3 yang masing-masing hanya sekitar 10% dan 3%.

## 4. Kesimpulan

Pengontrolan suhu menggunakan *PID kontrol open loop method ziegler nicolse* pada penelitian ini sangat baik karena tidak terjadinya osilasi dan overshoot pada suhu. Kenyataannya untuk melakukan pengontrolan suhu cukup dengan menggunakan PID kontrol saja tanpa harus digabungkan dengan jenis pengontrolan yang lain apabila pencarian nilai konstanta  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dari PID kontrol ini dilakukan dengan benar. Perlu dilakukan proses pengontrolan suhu pada proses pirolisis cepat karena bisa membuat sistem berjalan lebih stabil tanpa adanya osilasi dan *overshoot* suhu pada saat mencapai set point. Kemudian suhu, kecepatan putaran motor dan laju alir bahan baku mempengaruhi jumlah bio-oil dan biochar yang dihasilkan. Sebagai contoh semakin tinggi suhu semakin banyak bio-oil yang didapat. Dari ketiga kondensor, hasil bio-oil yang paling banyak terdapat pada kondensor 1.

Saran untuk penelitian berikutnya Perlu juga dilakukan proses kontrol kecepatan putaran motor sehingga motor bergerak lebih stabil. Disarankan alat dibuat dengan material SS 316 sehingga tidak mudah berkarat dan menjaga kualitas produk. Apabila ingin mendapatkan jumlah produk bio-oil lebih banyak, disarankan dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis cepat.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh DIKTI melalui skenario Program Penelitian Prioritas Nasional Materplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) tahun anggaran 2013.

## Daftar Pustaka

- [1] Darmadji, P dan Triyudianto, H., “Kadar Benzopyrene Selama Proses Pemurnian Asap Cair dan Simulasi Akumulasinya Pada Proses Perendaman Ikan”, (2006), *Agritech*, 26, (2) :94-103
- [2] Wanabina Oil and Commodities., “Manfaat dan Kegunaan Cangkang Sawit”, (2011), [On-line serial]. Diakses tanggal 22 maret 2013, dari <http://wanabinacommodities.blogspot.com/2011/08/manfaat-dan-kegunaan-cangkang-sawit.html>.
- [3] David, A., et al., “Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar”, (2009), Wiley Inter Science. DOI: 10.1002/bbb.169; *Biofuels*, Bioprod. Bioref. 3:547–562.
- [4] International Energy Agency Bioenergy., “Biomass Pyrolysis”, (2007), IEA Bioenergy.
- [5] Goyal, H.B. Seal, D. and Saxena, R.C., “Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources”, (2008), *A review. Renewable Sustainable Energy Rev.* 12:504–517.
- [6] Radiati, L.E., Widiastuti, E.W., Prihandana, A., Pengaruh suhu dan lama pengovenan terhadap kualitas fisik dan organoleptik daging ayam kampung dengan penambahan nanas., (2013), Skripsi, Universitas Brawijaya. Malang.
- [7] Parkinson, T. and Booker, W.J., (2002), *Fuzzy Logic and Probability Applications-Bridging the Gap*. SIAM Publishers, Philadelphia
- [8] Astrom, K., Hagglund, T., (2006), *Advanced PID Control*. ISA, Research Triangle Park
- [9] Jaszczak, S. and Kolodziejczyk, J., (2012). *A Method of Fast Application of the Fuzzy PID Algorithm Using Industrial Control Device*, Artificial intelligence and soft computing, 11<sup>th</sup> international conference, ICAISC2012 zakopane, Poland, april/may 2012 proceedings, part 1, p237
- [10] Gregory K. M., (2012), *Industrial Applications of PID Control*, PID Control in the Third Millennium Advances in Industrial Control 2012, pp 415-461
- [11] Ziegler, J.G. and Nichols, N.B., “Optimum Settings for Automatic Controllers”, (1942), *Trans. ASME*, Vol. 64, 1942, s. 759-768
- [12] Haugen, F., “*Ziegler-Nichols Open-Loop Method*”, (2010), Finn Haugen TechTeach, 17 July 2011
- [13] Bridgwater, A.V., “The production of biofuels and renewable chemicals by fast pyrolysis of biomass”, (2007), *International J. Global Energy Issues*, 27, (2), 160-203.
- [14] Czernik, S. Bridgwater, A.V., “Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil”, (2004), *Energy & Fuels*, 18, 590-598
- [15] Brown, J.N., “Development of a lab-scale auger reactor for biomass fast pyrolysis and process optimization using response surface methodology”, (2009) M.S thesis Iowa State University. Ames. Unites States.
- [16] Lehmann, J., “*A handful of carbon*”, (2007) *Nature*. 447: 143-144 doi:10.1038/447143a