

*Original paper*

## **OTOMASI SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA INSINERATOR UNGGUN TETAP MENGGUNAKAN PENGENDALI DUA POSISI**

**Ainie Khuriati**

*Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

Email: [ainiekhuriati@fisika.fsm.undip.ac.id](mailto:ainiekhuriati@fisika.fsm.undip.ac.id)

*Received: 11 Januari 2021; revised: 2 Maret 2021; accepted: 15 April 2021*

### **ABSTRAK**

*Tungku pembakaran adalah bagian paling penting dari insinerator dimana pembakaran berlangsung. Pengendalian suhu tungku menjadi sangat penting dalam pengoperasian sebuah incinerator terutama untuk meminimalkan emisi. Pengendalian suhu dilakukan dengan menggunakan pengendali dua posisi tipe T2N4S-14R, relai, dan solenoida sebagai aktuator. Sensor suhu menggunakan termokopel tipe K. Bahan bakar menggunakan liquid petroleum gas (LPG). Pengujian dilakukan dengan dua buah setpoint masing-masing sebesar 400°C dan 300°C pada ruang bakar utama. Setpoint dicapai hanya memerlukan waktu 35 detik dan 20 detik untuk masing-masing setpoint. Makalah ini difokuskan pada pengendalian suhu secara eksperimental.*

**Kata kunci:** *insinerator, pengendali dua posisi, ruang bakar, termokopel.*

### **PENDAHULUAN**

Insinerasi adalah metode pembakaran limbah padat terkendali pada suhu tinggi. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam teknologi konversi termal limbah padat [1–3]. Teknologi konversi termal lainnya (pirolisis dan gasifikasi) masih dalam tahap penelitian dan belum layak digunakan untuk tujuan komersial dalam skala besar dikarenakan kurangnya data karakterisasi sampah yang tepat, kualitas bahan baku yang buruk, dan desain fasilitas yang tidak tepat [1, 4]. Keuntungan dari pembakaran terletak pada derajat pengurangan yang tinggi dan tidak ada dekomposisi lebih lanjut yang diperlukan. Selain itu, abu sisa dapat digunakan sebagai penutup tanah. Pembakaran memerlukan tempat yang lebih kecil dibandingkan dengan TPA dan pemilihan lokasi bisa lebih mudah [5]. Meskipun konversi termokimia dianggap sebagai proses destruktif yang

mengonsumsi banyak energi, teknologi ini masih memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan konversi biokimia seperti mengurangi penggunaan air, siklus produksi pendek dan operasi berkelanjutan lebih mudah [1]. Namun, ada beberapa kekurangan seperti investasi proyek, biaya operasi tinggi, dan sulitnya manajemen.

Pada awalnya, insinerasi hanya digunakan untuk mengurangi volum dan melindungi manusia dan lingkungan dari limbah berbahaya, tapi tidak untuk memulihkan energi [6]. Setelah kemajuan teknologi pengendalian pencemaran udara, insinerasi dianggap sebagai pilihan penanganan limbah yang menarik, terutama di negara-negara maju [7,8]. Kelebihan teknologi insinerasi terletak pada pengurangan massa limbah dan volume bisa masing masing 70% dan 90% [9–13]. Pada saat yang bersamaan, panas dan / atau listrik juga bisa diproduksi [14]. Dari insinerator,

panas disuplai jika ada kebutuhan untuk pemanasan distrik (di negara-negara dingin), yang terkadang dipasok ke industri seperti pabrik kertas, dan listrik diproduksi pada semua kasus lainnya [6]. Namun pada beberapa studi baru-baru ini [15,16], para ilmuwan menyoroti beberapa keuntungan insinerasi lainnya selain pengurangan volume dan listrik generasi seperti, pemanfaatan abu bawah dan abu terbang dari insinerasi tanaman untuk konstruksi jalan, produksi semen, dan pemulihan zat besi serta non-ferrous. Dengan demikian, teknologi pengembangan lebih lanjut yaitu dalam pemulihan logam dari abu kering sisa insinerasi diharapkan dapat meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap fasilitas Waste-to-Energy (WtE) [17].

Sistem pembakaran adalah jantung insinerasi sampah [18]. Tungku pembakaran adalah bagian penting dari sistem dimana pembakaran berlangsung. Komponen-komponen dalam tungku pembakaran terdiri dari: (a) Ruang refraktori yang dibuat dengan bahan tahan api untuk mengisolasi dan menahan pada suhu operasi yang tinggi, (b) Pembakar yang berguna untuk memastikan suhu yang dibutuhkan tercapai, (c) Terdapat pasokan udara yang bisa disesuaikan, (d) Cerobong yang digunakan untuk membuang gas buang hasil pembakaran dari ruang bakar, dan (d) Pintu untuk memasukkan dan mengeluarkan bahan pakan.

Pengendalian tungku sangat penting dalam pengoperasian sebuah insinerator. Sistem pengendalian tungku mempunyai dua fungsi dasar, yaitu pengendalian proses tungku dan memastikan operasi yang aman. Sistem pengendalian proses ini diperlukan untuk memenuhi satu atau beberapa tujuan, yaitu memaksimalkan kapasitas produksi tungku, memastikan kualitas produk yang memuaskan, meminimalkan konsumsi bahan bakar, meminimalkan emisi, dan mengendalikan pemanasan tungku. Tujuan tersebut dapat terpenuhi dengan

mengendalikan satu atau beberapa parameter yaitu aliran bahan bakar atau masukan panas ke tungku, laju aliran udara bakar atau rasio udara / bahan bakar, suhu udara pembakaran, suhu tungku, komposisi gas keluar dari tungku, suhu gas keluar dari tungku, laju umpan bahan pakan ke tungku, dan komposisi fisik dan kimia dari bahan baku ke tungku.

Pengendalian suhu adalah salah satu faktor penting dalam pengendalian proses pembakaran untuk mendapatkan produk pembakaran yang aman bagi lingkungan. Oleh karena itu, kertas kerja ini bertujuan untuk membuat piranti pengendali suhu pembakaran dalam ruang bakar maupun dalam pembakar lanjut secara otomatis menggunakan pengendali dua posisi.

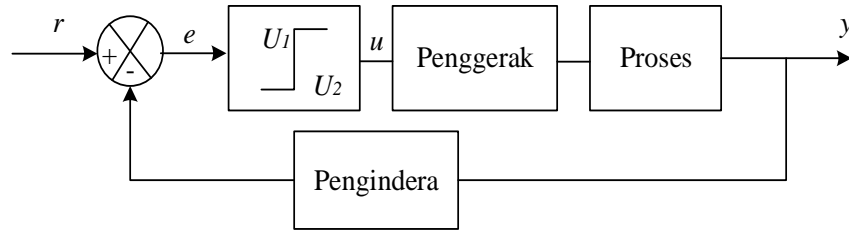
## METODE

### Pengendali suhu dua posisi

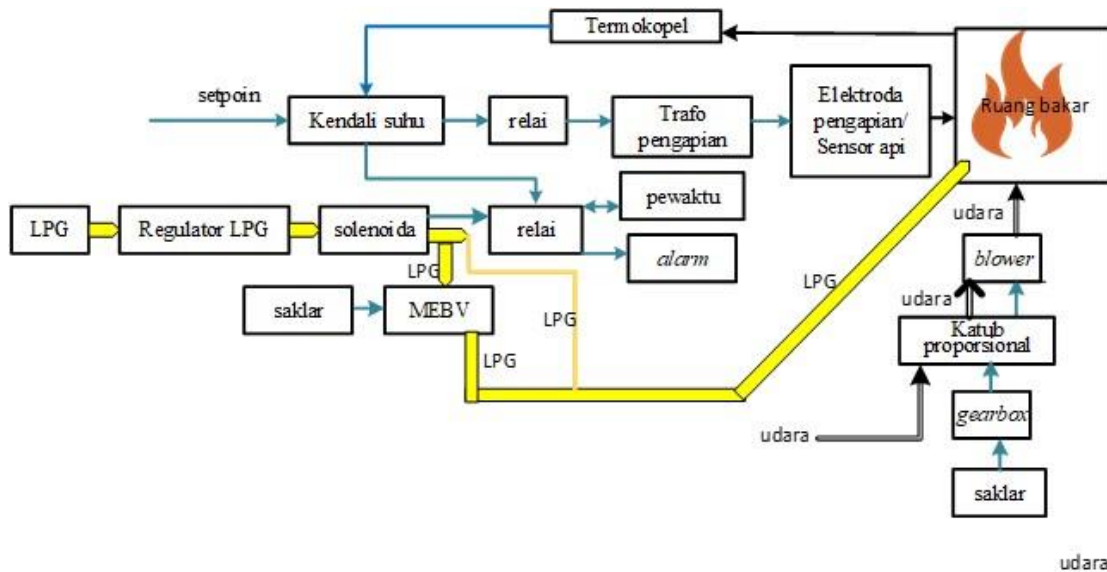
Pengendali dua posisi merupakan sistem kendali lup tertutup. Sistem kendali lup tertutup membandingkan keluaran aktual dengan tanggapan keluaran yang diinginkan. Ukuran keluaran disebut sinyal umpan balik sistem kendali. Pengendali umpan balik sistem adalah sistem kendali yang cenderung mempertahankan hubungan yang ditentukan satu peubah sistem ke peubah lainnya dengan membandingkan fungsi peubah-peubah ini dan menggunakan perbedaan sebagai alat pengendali.

Pengendali dua posisi relatif sederhana, ditunjukkan Gambar 1. Sinyal output pengendali adalah  $u(t)$  dan sinyal kesalahan yang digerakkan adalah  $e(t)$ . Dalam pengendali dua posisi, sinyal  $u(t)$  tetap pada nilai maksimum atau minimum, tergantung pada apakah sinyal kesalahan aktuasi bernilai positif atau negatif, sehingga

$$\begin{aligned} u(t) &= U_1 \text{ untuk } e(t) > 0 \\ u(t) &= U_2 \text{ untuk } e(t) < 0 \\ e(t) &= r(t) - y(t) \end{aligned} \quad (1)$$



Gambar 1. Pengendali dua posisi.



Gambar 2. Diagram skematik sistem pengendalian proses pembakaran (garis biru, garis kuning, dan garis dobel masing-masing menyatakan aliran arus, aliran LPG, dan aliran udara).

Dengan  $U_1$  dan  $U_2$  adalah konstanta. Nilai minimum  $U_2$  biasanya nol atau  $-U_1$ . Katub solenoid listrik banyak digunakan sebagai penggerak untuk jenis pengendali ini.  $r(t)$  adalah *setpoint* atau nilai suhu yang diharapkan,  $y(t)$  adalah suhu keluaran aktual.

### Desain Percobaan

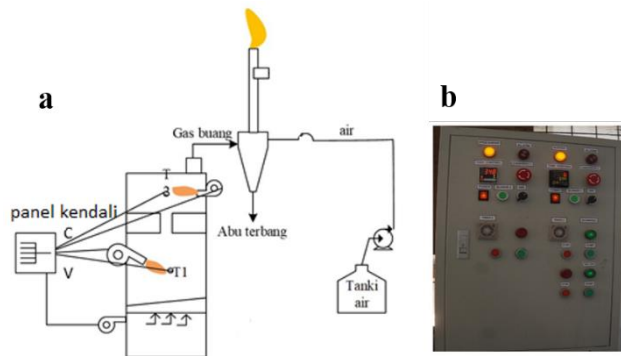
Gambar 2 menunjukkan desain percobaan. *Blower* digunakan untuk memasok udara untuk pembakaran stokiometri dan memberikan udara berlebih. Suhu ruang bakar diatur melalui pengendali suhu. Pengendali suhu menggunakan pengendali suhu tipe T2N4S-14R. Ini merupakan pengendali suhu dua posisi. Api tidak mudah untuk dikendalikan ketika sudah sampai taraf pembakaran. Untuk mengendalikan perapian,

terdapat dua cara yang dapat ditempuh. Pertama adalah pengendalian aliran udara dan gas. Kedua adalah pengendalian suhu. Pengendali udara dan gas masih dilakukan secara manual. Besarnya bukaan katub aliran udara dan MEBV aliran gas ditetapkan pada saat awal pembakaran menggunakan saklar pengendali. Pengendali suhu dua posisi adalah pengendali yang paling mudah untuk diterapkan. Pengendali ini memerintahkan solenoida untuk membuka-tutup aliran gas melalui relai. Jika suhu sudah sesuai dengan *setpoint*, sinyal akan dikirim ke relai yang memerintahkan solenoida untuk menutup aliran gas. Alarm akan menyala dan berbunyi ketika tidak ada aliran gas yang terdeteksi. Prinsip keran pengendali suhu untuk ruang bakar lanjut adalah sama dengan pengendali

suhu di ruang bakar utama, seperti dijelaskan sebelumnya.

### Deskripsi Insinerator

Gambar 3(a) menunjukkan insinerator yang digunakan untuk pengujian. Insinerator yang digunakan adalah insinerator unggun tetap. Insinerator unggun tetap terdiri dari dua ruang, yaitu ruang bakar dan pembakar lanjut. Ruang bakar atau sering pula disebut tungku adalah ruang pembakaran sampah. Sedangkan pembakar lanjut adalah sarana untuk menyediakan suhu dan waktu tinggal yang diperlukan untuk mengoksidasi semua senyawa yang mudah terbakar yang terkandung dalam gas buang dari ruang bakar. Siklon digunakan untuk memisahkan materi partikulat dari gas buang. Siklon



**Gambar 3.** (a) Insinerator dan Panel kendali (b) Panel kendali

dilengkapi dengan semprotan air sehingga menjadi sebuah *scrubber* basah. Air pada *scrubber* basah berfungsi untuk membawa

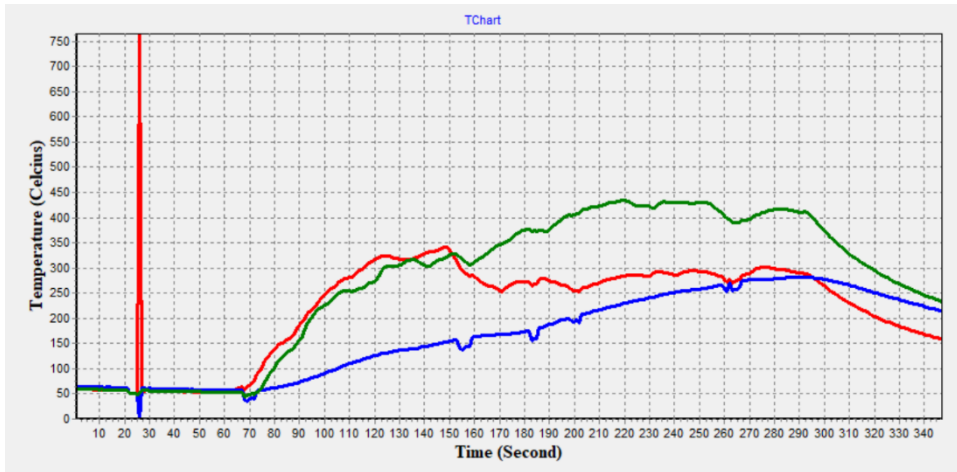
abu terbang yang dibawa oleh gas buang mengalir turun ke bak penampung sehingga diharapkan tidak terbawa oleh gas buang yang keluar melalui cerobong asap. Pada kedua ruang bakar dilengkapi dengan termokopel T1 dan T2 untuk mengukur dan mengendalikan suhu ruang bakar.

Gambar 3(b) menunjukkan panel kendali yang dibuat. Panel kendali dibuat untuk memudahkan dalam mengoperasikan insinerator. Panel kendali dilengkapi dengan lampu-lampu indikator untuk mengindikasikan insinerator sedang beroperasi atau tidak. Suhu pembakaran diatur melalui kedua *TEMP CONTROL*.

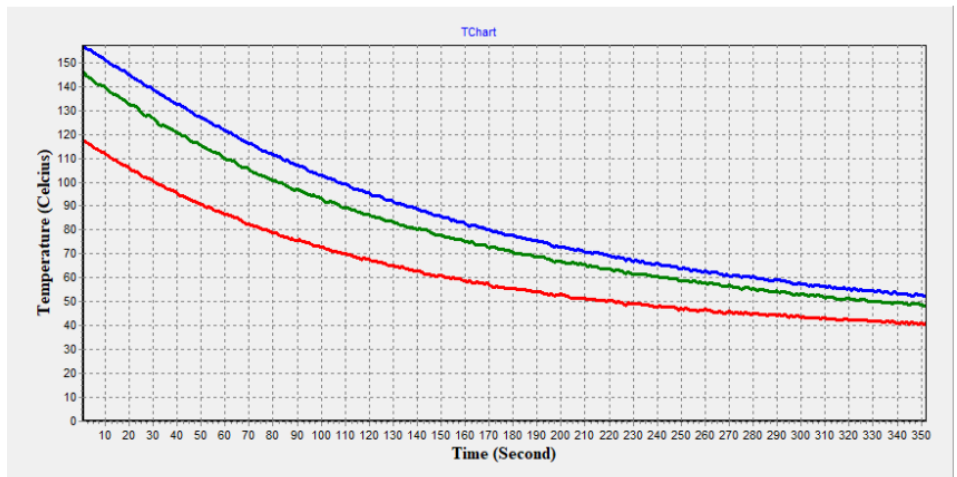
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi Termokopel

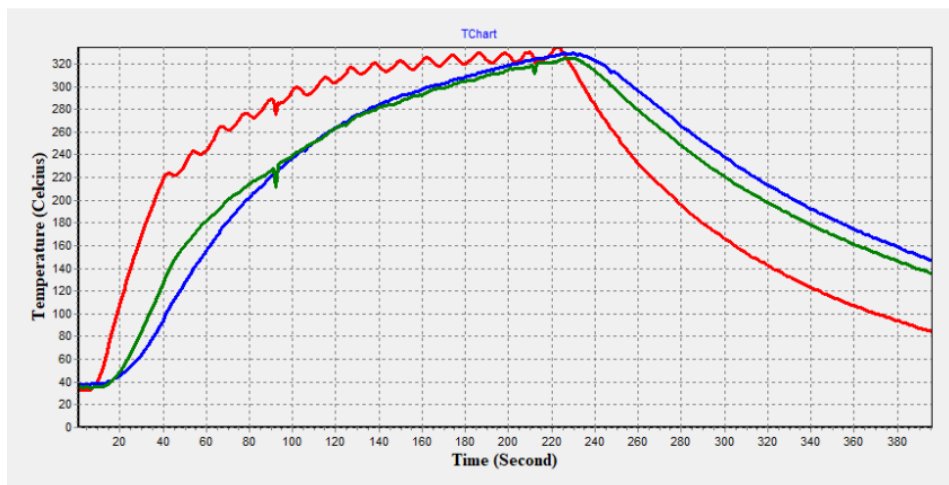
Tujuan dari kalibrasi termokopel adalah untuk menyamakan penunjukan suhu yang diukur. Pada kalibrasi ini digunakan tiga buah termokopel. Hasil kalibrasi pada proses pemanasan dan pendinginan ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5. Hasil kalibrasi pada Gambar 4 menunjukkan bahwa suhu yang ditunjukkan pada garis merah menandakan ketidakberaturan pengukuran, termokopel yang menunjukkan hasil pengukuran ini tidak digunakan sebagai alat ukur dan alat pengendali. Pada proses pendinginan (Gambar 5) menunjukkan bahwa termokopel ini juga memberikan perbedaan nilai pengukuran yang signifikan. Setelah melalui proses kalibrasi (Gambar 6), dua termokopel menunjukkan kesamaan penunjukan.



Gambar 4. Kalibrasi dengan tiga buah termokopel pada proses pemanasan.



Gambar 5. Kalibrasi dengan tiga buah termokopel pada proses pendinginan.

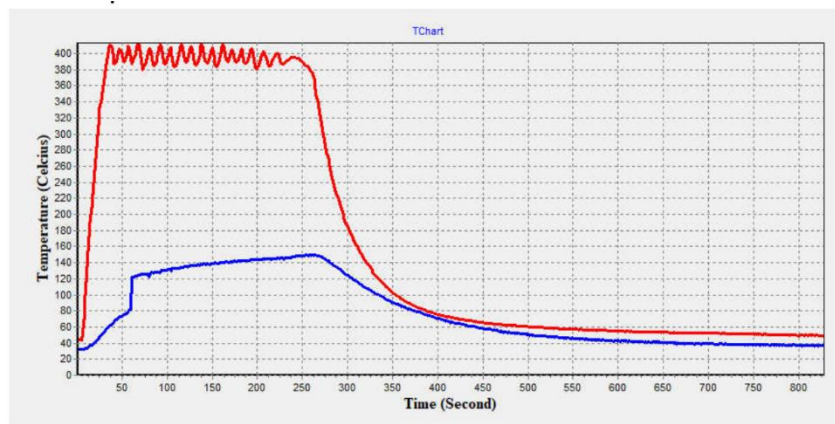


Gambar 6. Hasil akhir kalibrasi.

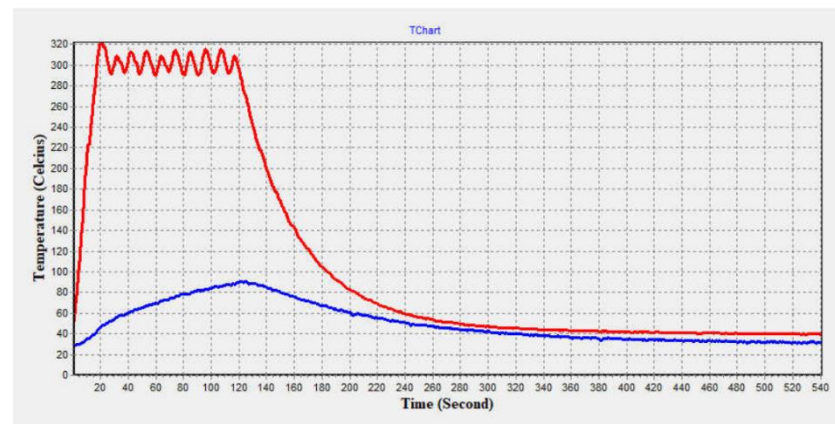
### Pengujian Pengendali Suhu Dua Posisi

Gambar 7 dan 8 merupakan uji coba untuk melihat kinerja dari pengendali suhu dengan dua setpoint. Uji coba dilakukan masing-masing selama 250 detik dan 120 detik. Setpoint masing-masing sebesar 400°C dan 300°C pada ruang bakar. Pembakar pada ruang bakar lanjut tidak dinyalakan. Garis biru menunjukkan suhu di ruang bakar lanjut dan garis merah menunjukkan suhu di ruang bakar utama. Pada pengujian ini belum menggunakan sampah. Gambar 7 dan 8 menunjukkan perilaku pengendali dua posisi selalu beresilasi disekitar setpoint, berada diatas atau dibawah setpoint. Proses

pemanasan berlangsung secara cepat, hanya memerlukan waktu 35 detik dan 20 detik, setpoint masing-masing dicapai. Namun ketika pembakar dimatikan, pendinginan membutuhkan waktu cukup lama untuk kembali keadaan semula. Panas yang diterima di ruang bakar lanjut dari ruang bakar utama cukup tinggi meskipun pembakar tersebut tidak dinyalakan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menciptakan suhu 850°C di ruang bakar lanjut membutuhkan sedikit bahan bakar. Ketika pemanasan di ruang bakar mencapai 400°C dan 300°C, suhu ruang bakar lanjut mencapai suhu 140°C dan 80°C.



**Gambar 7.** Perilaku pengendali pada setpoint 400°C dan 150°C pada ruang bakar lanjut dan ruang bakar utama.



**Gambar 8.** Perilaku pengendali pada setpoint 300°C dan 80°C pada ruang bakar lanjut dan ruang bakar utama.

**KESIMPULAN**

Setelah melalui kalibrasi didapatkan dua buah termokopel yang menunjukkan kesamaan dalam pengukuran. Dua buah termokopel ini yang kemudian digunakan sebagai dasar membangun sistem pengendalian suhu. Otomasi pengendalian suhu bekerja cukup baik meskipun nilainya selalu beresilasi diantara nilai setpoint, hal ini disebabkan dari karakteristik pengendali dua posisi. Keadaan ini masih dapat diterima karena pembakaran sampah tidak memerlukan pengukuran suhu yang sangat akurat.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Shi H, Mahinpey N, Aqsha A, Silbermann R. Characterization, thermochemical conversion studies, and heating value modeling of municipal solid waste. *Waste Manag.* 2016;48:34–47.
- [2] Dong J, Tang Y, Nzihou A, et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China Jun. *J Clean Prod.* 2018;203:287–300.
- [3] Santos RE dos, Santos IFS dos, Barros RM, et al. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. *J Environ Manage.* 2019;231(April 2018):198–206.
- [4] Appels L, Lauwers J, Degreve J, et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renew Sustain Energy Rev.* 2011;15(9):4295–301.
- [5] Liu Z, Liu Z, Li X. Status and prospect of the application of municipal solid waste incineration in China. *Appl Therm Eng.* 2006;26(11–12):1193–7.
- [6] Brunner PH, Rechberger H. Waste to energy - key element for sustainable waste management. *Waste Manag.* 2015;37:3–12.
- [7] Psomopoulos CS, Bourka A, Themelis NJ. Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Manag.* 2009;29(5):1718–24.
- [8] Ouda OKM, Raza SA, Nizami AS, et al. Waste to energy potential: A case study of Saudi Arabia. *Renew Sustain Energy Rev.* 2016;61:328–40.
- [9] Cheng H, Hu Y. Bioresource Technology Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy : Current and future practices in China. *Bioresour Technol.* 2010;101:3816–24.
- [10] Nixon JD, Dey PK, Ghosh SK, et al. Evaluation of options for energy recovery from municipal solid waste in India using the hierarchical analytical network process. *Energy.* 2013;59:215–223.
- [11] Nixon JD, Wright DG, Dey PK, et al. A comparative assessment of waste incinerators in the UK. *Waste Manag.* 2013;33(11):2234–2244.
- [12] Gohlke O. Drivers for innovation in waste-to-energy technology. *Waste Manag Res.* 2007; 25(3): 214–219.
- [13] Lombardi L, Carnevale E, Corti A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Manag.* 2015;37:26–44.
- [14] Singh RP, Tyagi V V., Allen T, et al. An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario. *Renew Sustain Energy Rev.* 2011;15(9):4797–4808.
- [15] Meylan G, Spoerri A. Eco-efficiency assessment of options for metal recovery from incineration residues: A conceptual framework. *Waste Manag.* 2014;34(1):93–100.
- [16] Allegrini E, Maresca A, Olsson ME, et al. Quantification of the resource recovery potential of municipal solid waste incineration bottom ashes. *Waste*

- Manag.* 2014;34(9):1627–1636.
- [17] Morf LS, Gloor R, Haag O, et al. Precious metals and rare earth elements in municipal solid waste - Sources and fate in a Swiss incineration plant. *Waste Manag.* 2013;33(3):634–644.
- [18] Lu JW, Zhang S, Hai J, et al. Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China: A comparison with developed regions. *Waste Manag.* 2017;69:170–186.