PENGENDALIAN SUHU SECARA ELEKTRONIS PADA MESIN SINTERING FURNACE BERBASIS THYRISTOR

Asep Najmurrokhman, Ahmad Daelami, Fisa Rumanto
Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jend. Sudirman PO Box 148 Cimahi 40533
Email : asepnajmu@yahoo.com

Abstrak

Mesin *sintering furnace* adalah sebuah tungku listrik dengan daya dan suhu tinggi untuk menghasilkan produk yang terbuat dari logam atau keramik dengan kualitas baik. Faktor kualitas dalam produk tersebut ditunjukkan oleh nilai kekerasan benda kerja yang dihasilkan dan sangat bergantung kepada suhu dalam mesin tersebut. Karena berbagai faktor yang ada dalam sistem dan lingkungan, suhu yang dihasilkan dalam tungku tersebut kadang-kadang mengalami perubahan dari nilai yang seharusnya. Oleh karena itu, pengendalian suhu dalam mesin ini menjadi bagian yang cukup penting agar dihasilkan benda kerja dengan kualitas baik. Dalam makalah ini dipaparkan tentang pengendalian suhu dalam mesin *sintering furnace* secara elektronis menggunakan peralatan utama yang disebut *thyristor*. *Thyristor* adalah sebuah peralatan elektronis berbasis semikonduktor yang dapat mengatur arus dan tegangan tinggi. Pengendalian suhu ini dilakukan dengan mengatur katup gas panas yang dialirkan ke ruang bakar sesuai dengan kondisi suhu sebenarnya yang terdeteksi oleh transduser suhu. Dari hasil pengamatan terhadap pengujian yang dilakukan terlihat bahwa suhu dapat diatur sesuai dengan *set point*-nya, meskipun terlihat bahwa ada fluktuasi di sekitar nilai tersebut.

Kata kunci: *furnace*, pengendalian suhu, *sintering*, thyristor.

I. Pendahuluan

Sintering adalah teknik pembentukan benda dan bahan dengan kepadatan tertentu dari serbuk logam dan atau keramik oleh suatu energi panas [Kang, 2005]. Proses *sintering* menyebabkan bersatunya partikel-partikel, sehingga akan menyebabkan kepadatannya bertambah. Selama proses ini akan terbentuk batas-batas butir yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Sintering adalah metode yang digunakan untuk membuat benda dari butiran atau serbuk [Wikipedia, 2011]. Proses sintering bekerja berdasarkan prinsip difusi atom. Difusi terjadi dalam setiap materi pada suhu di atas nol mutlak, tetapi proses tersebut berlangsung jauh lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi. Dalam sebagian besar proses sintering bahan serbuk ditempatkan dalam

cetakan dan kemudian dipanaskan sampai suhu di bawah titik lelehnya. Atom dalam partikel serbuk tersebut menyebar melintasi batas-batas partikel, bergabung bersama-sama dan membentuk satu bagian padat.

Sintering secara tradisional digunakan untuk pembuatan benda keramik tetapi menemukan aplikasi di hampir semua bidang industri. Studi tentang proses sintering dan serbuk atau butiran logam dikenal sebagai metalurgi serbuk. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa suhu sangat berpengaruh pada kualitas material yang dibuat melalui proses *sintering* [Herhady & Sukarsono (2007), Subiyanto & Subowo (2003)]. Herhady & Sukarsono (2007) melakukan penelitian tentang efek suhu pada pembuatan bahan yang digunakan pada reaktor nuklir dan

menyimpulkan tentang suhu optimal agar diperoleh hasil yang baik. Subiyanto & Subowo (2003) memperoleh kaitan antara suhu pada proses sintering dengan sifat mekanik dan insulator listrik dari bahan keramik. Karena berbagai faktor yang ada dalam sistem dan lingkungan, suhu yang dihasilkan dalam proses sintering tersebut kadang-kadang mengalami perubahan dari nilai yang seharusnya. Oleh karena itu, pengendalian suhu dalam proses tersebut menjadi bagian yang cukup penting agar dihasilkan benda kerja dengan kualitas baik. Salahsatu komponen yang sangat penting dalam pengendalian suhu tersebut adalah sensor dan aktuatornya. Salah satu sensor suhu yang banyak digunakan adalah jenis termokopel. Sutarya (2008) menggunakan sensor ini dan melakukan analisis terhadap kualitas sensor tersebut dalam proses sintering dalam instalasi bahan bakar reaktor nuklir.

Dalam makalah ini dipaparkan tentang pengendalian suhu dalam mesin *sintering furnace* secara elektronis menggunakan peralatan utama yang disebut *thyristor*. *Thyristor* adalah sebuah peralatan elektronis berbasis semikonduktor yang dapat mengatur arus dan tegangan tinggi. Pengendalian suhu ini dilakukan dengan mengatur katup gas panas yang dialirkan ke ruang bakar sesuai dengan kondisi suhu sebenarnya yang terdeteksi oleh transduser suhu.

II. Mesin Sintering Furnace

Furnace adalah salah satu peralatan penukar panas dengan pembakaran bahan bakar dalam *burner* sebagai sumber panas. Dalam era modern, perkembangan teknologi *furnace* semakin pesat seiring dengan bertambahnya waktu. Penggunaan *furnace* sebagai alat untuk pemanas tidak lagi menggunakan sistem konvensional. Saat ini telah ditemukan dan dikembangkan penggunaan *furnace* dengan menggunakan sistem listrik dengan berbagai kelebihan yang dimiliki. Seperti penggunaan suhu yang tinggi dalam waktu singkat, suhu dapat diatur sesuai kebutuhan, kerugian

akibat penguapan udara panas sangat kecil, serta pengaturan kestabilan suhu yang lebih baik.

Furnace pada penelitian ini digunakan untuk mengeraskan benda kerja dan mempertahankan dimensi benda kerja sehingga digunakan pola pemanasan tertentu mengikuti fungsi waktu. *Furnace* memiliki tingkat derajat suhu yang tinggi, dalam pengerasan benda kerja yaitu sekitar 1155°C. Dengan karakteristik yang demikian, bila *furnace* digunakan dalam jangka waktu yang lama, maka kestabilan dari suhu tersebut harus selalu dijaga. Idealnya *furnace* harus memanaskan bahan secukupnya sampai mencapai suhu yang maksimum. Kunci dari operasi *furnace* yang efisien terletak pada pemanasan bahan bakar yang sempurna dengan udara berlebih yang minim. Gambar 1 memperlihatkan bagian dalam mesin *sintering furnace* saat belum dipanaskan.

Gambar 1. Bagian Dalam Mesin *Sintering Furnace* saat belum dipanaskan

III. Pengendalian Suhu dengan Thyristor

3.1 Pengendalian Suhu

Pengendalian suhu adalah proses yang bertujuan memperoleh suhu yang diinginkan. Meskipun pemanasan dengan *heater* dalam mesin sintering *furnace* ditujukan untuk memperoleh suhu yang diinginkan, tetapi adanya faktor luar yang berpengaruh menyebabkan suhu tersebut menyimpang dari suhu yang diinginkan. Dalam hal ini dibutuhkan perangkat yang berfungsi untuk mengendalikan suhu

tersebut, yaitu sebuah kontroler suhu. Sebuah sensor/transduser suhu diperlukan untuk mendeteksi suhu sebenarnya dalam proses tersebut kemudian datanya digunakan untuk mengubah parameter tertentu dalam perangkat kontroler suhu. Ada tiga tipe dasar kontroler, yaitu *on/off*, proporsional dan PID.

3.2 Kontroler *on/off*

Kontroler *on/off* adalah bentuk paling sederhana dari kontroler dalam sistem pengendalian suhu. Output dari perangkat ini berada dalam status *on* atau *off*. Kontroler *on/off* akan berpindah output hanya ketika suhu melintasi *setpoint*. Kondisi *on* terjadi saat suhu berada di bawah *setpoint*, sedangkan *off* berlangsung saat suhu output berada di atas *setpoint*. Karena suhu melintasi *setpoint* untuk mengubah keadaan output, suhu proses akan berosilasi terus. Nilai suhu tersebut bergerak naik dari bawah *setpoint* ke atas, kemudian kembali di bawah *setpoint*, dan seterusnya. Dalam kasus terjadi perubahan yang cukup cepat, sebuah diferensial on-off atau histeresis ditambahkan untuk operasi kontroler untuk mencegah kerusakan kontaktor dan katup. Kontroler tipe *on/off* biasanya digunakan pada pengendalian yang tidak memerlukan angka tepat atau pada sistem alarm. Kontroler ini menggunakan relay menempel, yang harus secara manual direset, dan digunakan untuk menutup proses ketika suhu tertentu tercapai.

3.3 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional dirancang untuk menghilangkan efek terkait dengan kondisi *on-off*. Sebuah kontroler proporsional mengurangi energi rata-rata yang harus dipasok ke pemanas karena suhu mendekati *setpoint*. Hal ini memiliki efek memperlambat pemanas sehingga tidak akan terjadi lonjakan suhu, namun akan mendekati *setpoint* dan mempertahankan suhu yang stabil. Tindakan proporsi dapat dicapai dengan memutar output dan off

untuk interval waktu yang singkat. Tindakan proporsi terjadi dalam sebuah "band proporsional" di sekitar suhu *setpoint*. Di luar band ini, fungsi kontroler sebagai unit *on-off*, dengan output baik penuh pada *on* (di bawah band) atau sepenuhnya *off* (di atas band). Namun, dalam band, output adalah dihidupkan dan dimatikan dalam rasio perbedaan pengukuran dari *setpoint*. Pada *setpoint* (titik tengah dari band proporsional), output rasio *on* dan *off* adalah 1:1, yaitu waktu *on* dan *off* terjadi dalam waktu yang sama. Jika suhu lebih dari *setpoint*, *on*-dan *off*-kali bervariasi dalam proporsi dengan perbedaan suhu. Jika suhu berada di bawah *setpoint*, output akan lebih lama, jika suhu terlalu tinggi, output akan dimatikan lagi.

3.4 Kontroler PID (*Proporsional Integral Derivatif*)

Kontroler ini menggabungkan kontrol proporsional dengan dua penyesuaian tambahan, yang membantu unit otomatis mengkompensasi perubahan dalam sistem. Penggunaan tipe proporsional saja biasanya menghasilkan lonjakan (*overshoot*) pada respon outputnya serta selalu terjadi selisih antara output dan nilai *setpoint*nya (*steady state error*). Untuk menghilangkan efek *overshoot* digunakan parameter derivatif, sementara untuk memperoleh nilai sekecil mungkin *steady state error*nya diperlukan parameter integral dalam kontrolernya.

3.5 Thyristor atau *Silicon Controlled Rectifier* (SCR)

Thyristor dirancang untuk mengendalikan daya AC hingga 10 MW dengan rating arus sebesar 2 kA pada tegangan 1800 V dan frekuensi kerjanya dapat mencapai 50 kHz. Tahanan konduktif dinamis suatu thyristor sekitar 0,01 sampai 0,1 Ω sedangkan tahanan reversenya sekitar 100 k Ω atau lebih besar lagi.

Gambar 2. Konstruksi dasar thyristor dan simbolnya

SCR mempunyai tiga buah elektroda, yaitu Anoda, Kathoda dan Gate dimana anoda berpolaritas positif dan kathoda berpolaritas negatif sebagai layaknya sebuah dioda penyearah (*rectifier*). Kaki Gate juga berpolaritas positif. Gambar 2 memperlihatkan SCR dengan simbolnya.

3.5 Penyulutan SCR

SCR dapat dihidupkan dengan arus penyulut singkat melalui terminal Gate, dimana arus gate ini akan mengalir melalui junction antara gate dan kathoda dan keluar dari kathodanya. Arus gate ini harus positif besarnya sekitar 0,1 sampai 35 mA sedangkan tegangan antara gate dan kathodanya biasanya 0,7 volt. Jika arus anoda ke kathoda turun dibawah nilai minimum (*Holding Current* = I_{HO}), maka SCR akan segera mati (*off*). Untuk SCR yang berkemampuan daya sedang, besar I_{HO} sekitar 10 mA. Tegangan maksimum arah maju akan terjadi jika gate dalam keadaan terbuka atau $I_{GO} = 0$. Jika arus gate diperbesar dari I_{GO} , misal I_{GI} , maka tegangan majunya akan lebih rendah lagi. Gambar 3 memperlihatkan salah satu cara penyulutan SCR dengan sumber searah (dc), dimana SCR akan bekerja dengan indikasi menyalnya lampu dengan syarat saklar PB1 dan PB2 di ON kan terlebih dahulu.

Gambar 3. Penyulutan SCR Dengan Sumber DC

Triggering untuk penyulutan SCR dengan sumber DC ini tidak perlu dilakukan secara terus menerus, jika saklar PB1 dibuka, maka lampu akan tetap menyala atau dengan perkataan lain SCR tetap bekerja. Gambar 4 memperlihatkan cara penyulutan SCR dengan sumber bolak-balik (AC).

Gambar 4. Penyulutan SCR Dengan Sumber AC

Dengan mengatur nilai R_2 (potensiometer), maka kita seolah mengatur sudut penyalan SCR. Untuk penyulutan SCR dengan sumber arus bolak-balik, harus dilakukan secara terus menerus, jadi saklar S jika dilepas, maka SCR akan kembali tidak bekerja.

Gambar 5 memperlihatkan bentuk tegangan dan pada terminal SCR dan beban. Pengendalian sumber daya dengan SCR terbatas hanya dari 0° sampai 90° .

Gambar 5. Bentuk Tegangan Pada Terminal SCR Dan Beban

3.6 Instrumentasi pengendalian suhu

Instrumentasi pengendalian suhu dalam mesin sintering furnace ini diperlihatkan pada gambar 6 dan 7. Gambar 6 adalah

rangkaian automatic temperatur controllernya, sedangkan gambar 7 memberikan ilustrasi tentang rangkaian pemanas pada mesin ini.

Gambar 6. Rangkaian *Automatic Temperatur Controller*

Simbol pada gambar 6 adalah sebagai berikut:

CR 4	= Suhu control source 100V
P1 dan P2	= DC 20mA
X25	= Input Alarm Over heat
X26	= Input alarm Temperatur
TC1	= Thermocouple
CR16	= Pattern 1
CR 17	= Pattern 2
E	= Ground

Untuk pengukuran suhu *furnace* dimulai dari transduser berupa thermocouple tipe – R yang berfungsi sebagai sensor suhu dan tegangan keluaran yang dihasilkan dari transduser kemudian masuk ke *digital indicating controller* sebagai tampilan

besaran nilai suhu, *Automatic Temperatur Controller* menjaga nilai *Set Point*. Apabila terdapat perbedaan, berarti suhu yang terjadi belum sama dengan suhu yang diinginkan. *Automatic Temperatur Controller* sebagai yang mengontrol elemen pemanas secara otomatis akan melakukan aksi pengendalian suhu yaitu memberikan output ke SCR (*Silicon controlled Rectifier*) sehingga tercapai suatu keadaan dimana nilai set point akan sama atau mendekati dengan nilai tegangan umpan balik keluaran sensor suhu. Dalam pengendalian suhu mesin *sintering furnace* yang merupakan pengendali suhu pada elemen pemanas adalah *Automatic Temperature Controller*.

1. *Main brake* (NFB1) on secara manual maka arus listrik akan mengalir menuju SCR dan NBBF1
2. Setelah NBBF1 on maka arus listrik akan mengalir menuju transformator *step down* (380 V / 220 V) yang memberikan tegangan *input* SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) sebesar 220V.
3. SCR bekerja setelah mendapatkan sinyal dari ATC (*Automatic Temperature Controller*) berupa tegangan sebesar 4-

20mA DC. ATC akan memberikan masukan sampai pembacaan *thermocouple* sesuai dengan suhu *setpoint* masing-masing *zone* pada ATC.

4. Output arus dan tegangan dari SCR kemudian masuk ke transformator *step down* (380V/185) lalu masuk ke Trafo arus setelah itu masuk ke *heater*.

IV. Hasil pengukuran dan analisis

Pengambilan data dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi arus dan tegangan mesin *sintering furnace* pada saat beroperasi. Pengukuran dilakukan pada masing-masing *zone* menggunakan amperemeter dan voltmeter. Diagram pengukurannya diperlihatkan pada gambar 8.

Gambar 8. Rangkaian pengukuran arus dan tegangan pada masing – masing *zone*

Hasil pengukuran arus dan tegangan pada masing-masing *zone* mesin *sintering*

furnace diperlihatkan pada tabel 1 dan grafiknya diberikan pada gambar 9.

Tabel 1. Data Arus dan Tegangan Mesin *Sintering Furnace*

No	Jam	Zone 1 U		Zone 1 B		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5		Zone 6	
		(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)
1	7:00	216	185	216	185	215	185	216	185	216	185	216	185	216	185
	8:00	216	185	216	185	216	185	216	185	215	185	216	185	216	185
	9:00	216	185	214	185	215	185	214	185	214	185	215	185	215	185
	10:00	216	185	216	185	215	185	216	185	215	185	216	185	216	185
	11:00	216	185	216	185	216	185	216	185	215	185	214	185	215	185
	13:00	210	185	214	185	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185
	14:00	205	185	207	185	216	185	215	185	216	185	215	185	216	185
	15:00	200	185	203	185	215	185	216	185	214	185	216	185	215	185
	16:00	198	185	206	185	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185
	17:00	203	185	208	185	216	185	214	185	214	185	215	185	216	185
	18:00	207	185	211	185	215	185	216	185	216	185	216	185	216	185
	19:00	210	185	216	185	216	185	216	185	216	185	215	185	216	185
	20:00	213	185	216	185	214	185	215	185	216	185	214	185	216	185
	21:00	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185
	22:00	216	185	215	185	215	185	215	185	215	185	214	185	215	185
	23:00	216	185	214	185	216	185	216	185	215	185	216	185	216	185
	0:00	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185
	1:00	216	185	216	185	214	185	214	185	216	185	216	185	214	185
	2:00	216	185	216	185	216	185	216	185	216	185	214	185	215	185

Gambar 9. Arus dan tegangan Zone 1U sampai dengan zone 6 mesin *sintering furnace*

Dari tabel dan grafik terlihat terjadi penurunan arus *heater* pada area zone 1U dan 1B pada pukul 13:00 sampai dengan pukul 20:00, dan untuk zone 1U penurunan

arus dari 216 A menjadi 210 A sedangkan untuk Zone 1B dari 216 A menjadi 209 A untuk tegangan masih tetap stabil. Proses pengendalian untuk menaikkan arus pada

heater zone 1U-1B adalah dengan menambah output arus pada SCR dari 90% menjadi 95% untuk *setting* output pada SCR maksimal 100%.

Gambar 10. Pengaturan output SCR

Gambar 10 memperlihatkan rangkaian skematik pengaturan output pada SCR. Untuk menaikkan suhu *heater* dapat dilakukan dengan cara menaikkan arus pada SCR sehingga *heater* lebih cepat panas. Data suhu yang diperoleh dari instrumen pengukur suhu yang terdapat pada panel mesin diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data suhu mesin *sintering furnace*

No.	Jam	SUHU ZONA UTAMA (°C)						
		1U	1B	2	3	4	5	6
1	7:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	8:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	9:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	10:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	11:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	13:00	1150	1047	1155	1155	1155	1150	1140
	14:00	1142	1042	1155	1155	1155	1150	1140
	15:00	1138	1038	1155	1155	1155	1150	1140
	16:00	1140	1040	1155	1155	1155	1150	1140
	17:00	1143	1043	1155	1155	1155	1150	1140
	18:00	1146	1046	1155	1155	1155	1150	1140
	19:00	1150	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	20:00	1152	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	21:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	22:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	23:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	0:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	1:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140
	2:00	1155	1050	1155	1155	1155	1150	1140

Dari tabel 2 terlihat penurunan suhu pada zone 1U dan 1B antara pukul 13:00 sampai 20:00. untuk untuk zone 1 penurunan suhu terjadi pada pukul 13:00 dari 1155°C menjadi 1150°C dan pada zone 1B dari 1050°C menjadi 1047°C. Grafik

perubahan suhu pada mesin *sintering furnace* diberikan pada gambar 11. Karena respon perubahan suhu sangat lambat, maka diperlukan kurang lebih 7 jam untuk mengembalikan suhu mesin ke suhu *setpoint*nya.

Gambar 11. Penurunan Suhu Zone 1U sampai dengan zone 6 mesin

Tabel 3 memperlihatkan nilai *error* (selisih) suhu aktual dengan suhu setpointnya. Nilai *error* tersebut dihitung dari selisih antara suhu *setpoint* (1155°C) dengan suhu sebenarnya yang dihitung dengan instrumen suhu. Dari tabel terlihat bahwa nilai *error* tertinggi sebesar 17 poin yakni pada penurunan suhu 1138°C.

Tabel 3. Nilai error pada penurunan suhu Zone 1U

ZONE 1U		
suhu setpoint (°C)	suhu aktual (°C)	Nilai error
1155	1050	5
1155	1142	13
1155	1138	17
1155	1140	15
1155	1143	12
1155	1146	9
1155	1150	5
1155	1152	3

Sementara itu, tabel 4 menggambarkan nilai *error* pada zone 1B dan grafiknya perubahan errornya diperlihatkan pada gambar 12.

Tabel 4. Nilai *error* pada penurunan suhu Zone 1B

ZONE 1B		
Suhu setpoint (°C)	Suhu aktual (°C)	Nilai error
1050	1047	3
1050	1042	8
1050	1038	12
1050	1040	10
1050	1043	7
1050	1046	4

Gambar 12. Grafik perubahan nilai *error* suhu pada Zone 1U

V. Kesimpulan

Makalh ini telah menguraikan tentang pengendalian suhu secara elektronis pada mesin *sintering furnace* menggunakan komponen semikonduktor *thyristor* (SCR). Faktor suhu yang konstan menjaga agar

produk yang dihasilkan dari proses *sintering* berkualitas baik. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa pengendali *thyristor* yang digunakan berhasil menaikkan kembali suhu yang turun dalam mesin *sintering furnace*, meskipun terlihat bahwa responnya berorde jam (sangat lambat). Penelitian berikutnya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kecepatan respon adalah dengan menerapkan tipe pengendali PID dalam kasus tersebut. Aplikasi PLC dalam proses pengendalian suhu seperti yang telah dilakukan oleh Fattah (2011) juga menarik untuk diterapkan agar diperoleh hasil yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Fattah, A. (2011), Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu Furnace Kalsinasi Zirkonium Dengan Menggunakan PLCT100md1616+, Skripsi pada Prodi Elektronika dan Instrumentasi FMIPA UGM.
- Herhady, R. D. dan Sukarsono, R. (2007), Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering terhadap Kualitas Bahan Bakar Kernel UO_2 dalam *Furnace* jenis *Fluidized Bed*, Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Jakarta, 6 Nopember 2007, hlm. 67-74.
- Kang, S. J. L. (2005), *Sintering: Densification, Grain Growth & Microstructure*, Elsevier Butterworth-Heinemann, hlm. 3.
- Subiyanto, H. dan Subowo (2003), Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Sifat Mekanik Keramik Insulator Listrik, Jurnal Teknik Mesin, Volume 3, Nomor 18, Januari 2003, hlm 16-19.
- Sutarya, D. (2008), Analisis Unjuk Kerja *Thermocouple* W3Re25 Pada Suhu Penyinteran 1500°C , Majalah Ilmiah Pengelolaan Instalasi Nuklir (PIN) Vol. 1, No. 1, April 2008, hlm. 17-26.
- Wikipedia (2011), diambil dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Sintering>, tanggal 7 Agustus 2011 pukul 10.23.