

# Shell Thickness Reduction Effect on Working Stress of Cement Kiln with Mechanic and Thermal Load

Meifal Rusli<sup>1,\*</sup>, Angga Hertoh Hendra<sup>1</sup>, Dorce Yunirsyam<sup>2</sup> dan Mulyadi Bur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas - Padang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Pabrik, PT. Semen Padang - Padang

\*Korespondensi: meifal@ft.unand.ac.id

**Abstract.** A kiln is the principal component of cement factories that burn raw material to produce clinker. The kiln is rotated at heavy gravitational load and around 1500o C of inside temperature operation. Therefore, it suffers high working stress and deflection that are very sensitive to the change of the structure dimension and operating conditions. Furthermore, after some years, the kiln shell is commonly found having a thickness reduction in some specific segment due to the chemical process and friction between fire brick and the inner shell surface that initiate crack and grow to failure. In this paper, the effect of thickness reduction on kiln shell on the working stress will be analyzed. The load is consisting of gravitational load of shell component and thermal load. The shell has 0-25 mm thickness reduction that distributed to some kiln segments. It is found that, the reduction may increase about 50% of working stress in affected segment. Moreover, thickness reduction and fluctuated load caused by kiln rotation will increase the possibility of crack initiation and propagation in the shell and will generate a catastrophic failure of shell kiln.

**Abstrak.** *Kiln* merupakan komponen utama pabrik semen yang berfungsi membakar material mentah menjadi *klinker*. Pada saat beroperasi, *kiln* berputar dengan beban yang berat pada temperatur yang tinggi, sehingga mengalami tegangan dan defleksi yang sensitif terhadap berbagai perubahan kondisi. Salah satu masalah yang sering ditemui adalah munculnya penipisan pada beberapa bagian *shell* pada *kiln* karena terjadinya gesekan antara *shell* dan batu tahan api serta proses kimiawi/orosi. Penipisan dapat menyebabkan terjadinya retakan yang akan berlanjut dengan sobekan secara tiba-tiba. Pada artikel ini akan dibahas analisis distribusi tegangan yang bekerja pada *shell* pada *kiln* baik pada kondisi normal maupun kondisi terjadinya penipisan pada beberapa bagian dari *shell*. Tegangan terjadi disebabkan oleh beban mekanik dan beban termal. Beban mekanik berasal oleh berat sendiri dari *shell* dan struktur yang melekat padanya, batu tahan api, material *coating*, material mentah dan *klinker*, serta torsi untuk memutar *kiln*. Sedangkan beban termal disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur di dalam dan di luar *kiln*. Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadinya penipisan sebesar 0-25 mm yang terdistribusi di berbagai segmen meningkatkan tegangan yang bekerja sampai mencapai 50%. Dengan beban yang berfluktuasi selama perputaran *kiln*, dan munculnya penipisan yang tidak merata akan memicu munculkan konsentrasi tegangan dan retakan awal yang kemudian akan merambat dengan sangat cepat yang mengakibatkan sobeknya *shell kiln*.

**Kata kunci:** shell kiln, beban mekanik, beban termal, penipisan shell, tegangan

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

*Kiln* merupakan komponen utama pada pabrik semen yang biasanya kapasitas *kiln* menjadi patokan kapasitas sebuah pabrik. *Kiln* yang berfungsi membakar material mentah menjadi *klinker*, mempunyai diameter 5 sampai dengan 6 m, panjang 80 m, dan temperatur di dalamnya mencapai 1400 °C [1]. Pada saat beroperasi dan berputar dengan beban yang berat serta pada temperatur yang tinggi, *kiln* mengalami tegangan dan defleksi yang sensitif terhadap berbagai perubahan kondisi.

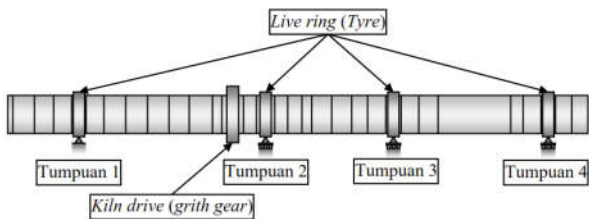
Pada saat *kiln* sedang beroperasi, sering ditemukan beberapa masalah pada *shell*. Beberapa diantaranya yaitu, terjadinya penipisan pada beberapa segmen *shell* pada *kiln* yang mengakibatkan tegangan yang bekerja akan berubah, yang pada beberapa kasus dapat mengakibatkan *shell* pada bagian tertentu robek. Masalah lainnya yaitu terjadinya ovalitas atau perubahan kebulatan pada *shell*, ketidak sesumbuan pada *shell*, dan retak pada tumpuan *live ring* [1-3]

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis statik *kiln* akibat pembebanan mekanik dengan menggunakan metode balok kontinu untuk mencari reaksi tumpuan secara manual dan secara numerik menggunakan paket program elemen hingga [4]. Dengan mengaplikasikan metode superposisi pada Microsoft Excel dan secara numerik dengan menggunakan paket program elemen hingga [5]. Akan tetapi, penelitian sebelumnya hanya memperhitungkan beban mekanik saja. *Kiln* tidak

hanya bekerja dengan beban mekanik saja, tetapi juga bekerja dengan beban termal. Pada penelitian ini juga akan dibahas pengaruh perubahan ketebalan *shell* yang bervariasi pada segmen tertentu pada *kiln*. Segmen yang dimaksudkan adalah segmen yang rentan terjadinya penipisan sehingga mempengaruhi tegangan pada *shell* pada *kiln* tersebut. Pada artikel ini dibahas analisis distribusi tegangan yang bekerja pada *shell* pada *kiln* baik pada kondisi normal maupun kondisi terjadinya penipisan pada beberapa bagian dari *shell kiln*.

**Metode Penelitian**

Pada Gambar 1 diperlihatkan model merupakan pemodelan *kiln* Indarung IV PT. Semen Padang. Secara umum struktur *kiln* terdiri atas tabung (*shell*) yang ditumpu oleh 3 atau 4 buah *tyre* dengan berbagai komponennya, *girth gear* dan *pinion* yang berfungsi sebagai penggerak. Pada bagian dalam *shell* dilapisi oleh batu tahan api yang berfungsi sebagai pelindung *shell* dari panas pembakaran yang mencapai 1400°C.



**Gambar 1.** Pemodelan *kiln* Indarung IV PT. Semen Padang

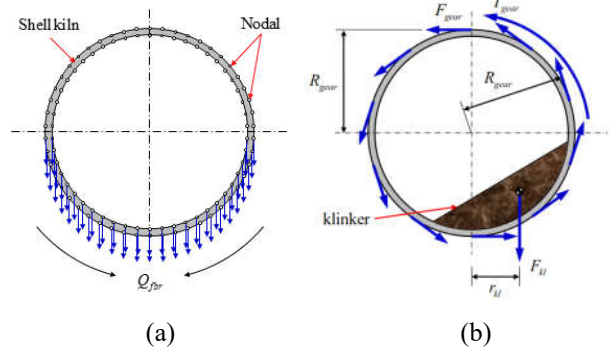
Struktur *kiln* dianalisis secara tiga dimensi dengan menggunakan paket program elemen hingga. Beban-beban mekanik yang bekerja pada struktur *kiln* secara keseluruhan diperoleh dengan menggabungkan beban-beban mekanik yang diakibatkan berat *shell*, batu tahan api, *coating*, klinker, *girth gear*, *live ring* dan torsi dari *girth gear*. Penghitungan terhadap pembebanan akibat berat sendiri dilakukan dengan menghitung distribusi volume dan berat *shell* di sepanjang *kiln*. Material *kiln* dari baja dengan berat jenis 7850 kg/m<sup>3</sup>. Berat *shell* pada masing-masing segmen akan berbeda karena perbedaan ketebalan dari *shell*.

Besarnya beban akibat berat batu tahan api pada masing-masing segmen akan berbeda sesuai dengan jenis batu tahan api yang dipakai. Kondisi aktualnya berat batu ( $Q_{fbr}$ ) tahan api tidak ditahan oleh seluruh permukaan *shell kiln*, karena posisinya hanya disusun dan diletakkan pada permukaan *shell*. Sehingga beban akibat batu tahan api diasumsikan terdistribusi pada setengah bagian dari *shell kiln* (gambar 2a).

*Coating* merupakan lapisan yang terbentuk akibat lelehan dari pembakaran *raw mix* selama *kiln*

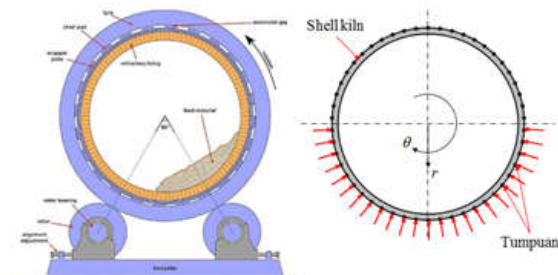
beroperasi yang melekat pada batu tahan api. *Coating* hanya terdapat pada jarak 32.395 mm dari *inlet* hingga *outlet* yang terbentuk karena lelehan *raw mix*. Ketebalan dari *coating* ini bervariasi mulai dari 100 hingga 300 mm. Sama halnya dengan berat batu tahan api, pada kondisi aktualnya berat *coating* juga tidak ditahan oleh seluruh permukaan *shell kiln*.

Berat klinker ( $F_{kl}$ ) merupakan gaya terpusat yang terdapat pada titik berat dari *raw mix* dan klinker pada saat *kiln* sedang berputar. Agar kondisi *kiln* tetap dalam keadaan statik maka gaya ( $F_{kl}$ ) dengan jari-jari terhadap pusat putarnya akan melawan torsi yang dapat dilihat pada gambar 2b. *Spring plate* meneruskan torsi pada *girth gear* ke *shell* pada *kiln* yang dipasang pada beberapa titik. Torsi ( $T_{gear}$ ) pada *girth gear* dapat dimodelkan dengan sejumlah gaya ( $F_{gear}$ ) dengan jari-jari  $R_{gear}$  sesuai dengan banyaknya *spring plate*. Pemodelan torsi pada *shell* pada *kiln* tampak pada gambar 2b.

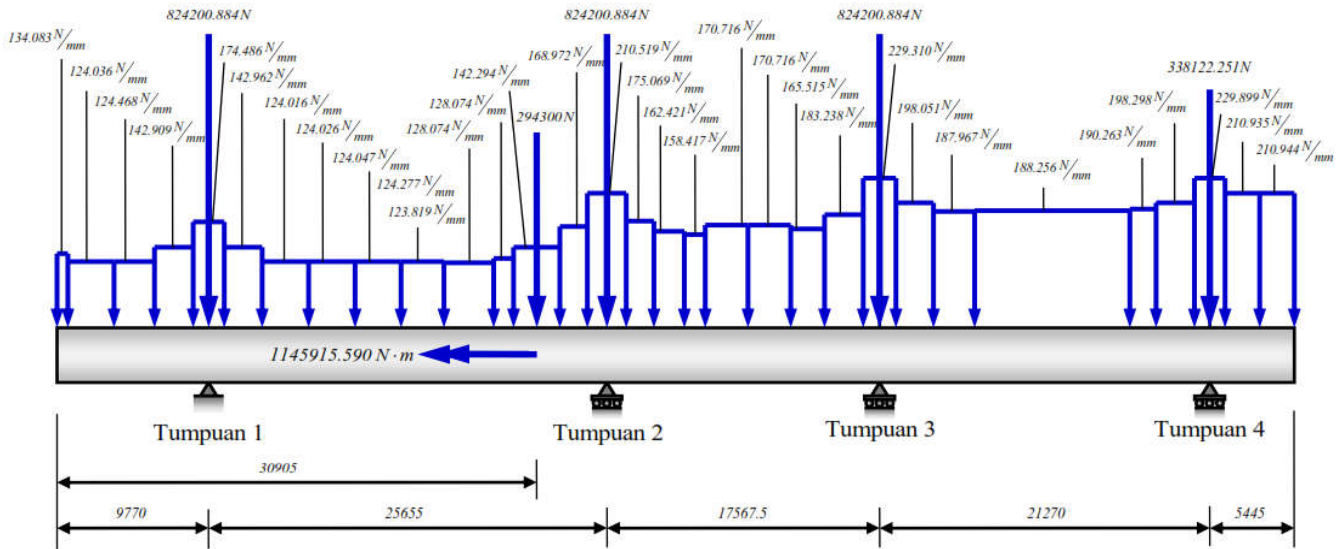


**Gambar 2.** Pemodelan pembebanan: a) Akibat berat batu tahan api, b) Akibat berat klinker

*Kiln* Indarung IV PT Semen Padang ditumpu oleh empat buah tumpuan 1, 2, 3 dan 4 (dimulai dari *inlet*). Gambar 3 merupakan bentuk tumpuan pada *kiln* yang ditumpu oleh *live ring* kemudian *roller*. Pada gambar 3 dapat dilihat *shell* pada *kiln* tidak bertumpu atau berkontak pada seluruh permukaan *live ring*. Maka dalam pemodelannya, keempat tumpuan diasumsikan *fix* (ditumpu satu arah sumbu  $r$  pada sistem koordinat polar) pada masing-masing nodal yang terdapat pada masing-masing tumpuan. Tumpuan dipasang pada setengah bagian luar *shell kiln*.

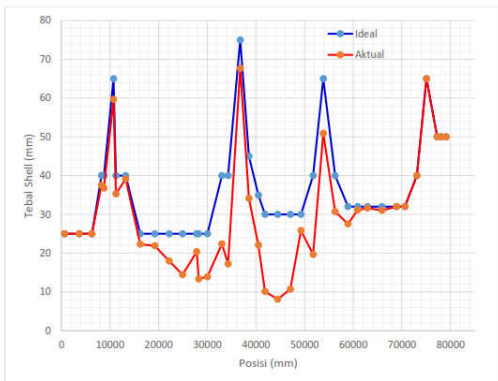


**Gambar 3.** Pemodelan tumpuan



Gambar 4. Model distribusi beban yang bekerja di sepanjang kiln

Distribusi beban secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 4, yang merupakan akumulasi dari semua beban-beban yang disebutkan di atas. Beban termal berasal dari pembakaran raw mix di dalam kiln dengan memodelkan temperatur shell seragam yaitu 320 °C dengan koefisien muai ( $\alpha$ ) sebesar  $1,1512 \times 10^{-5} \text{ m}^{\circ}\text{C}$  dan pengaruh suhu terpusat pada bagian tertentu pada shell kiln.



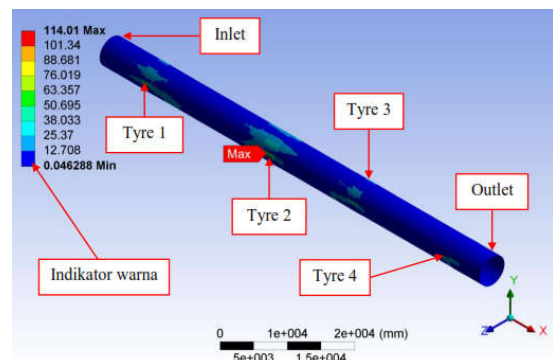
Gambar 5. Data ketebalan shell pada kiln Indarung IV PT. Semen Padang

Untuk melakukan analisis statik kiln Indarung IV PT. Semen Padang diperlukan data dimensi dan hal-hal lain yang mendukung. Gambar 5 merupakan data dimensi shell pada kiln Indarung IV PT. Semen Padang. Pada gambar 5 dapat dilihat garis berwarna biru merupakan ketebalan shell pada kondisi awal atau ideal, sedangkan garis berwarna merah merupakan ketebalan shell pada kiln aktual setelah beroperasi pada jangka waktu tertentu. Terlihat pada Gambar 5, beberapa bagian shell sudah mengalami penipisan sampai lebih 22 mm dari ketebalan awal.

### Hasil dan Pembahasan

Gambar 6 memperlihatkan distribusi nilai tegangan awal yang terjadi di sepanjang shell pada kiln

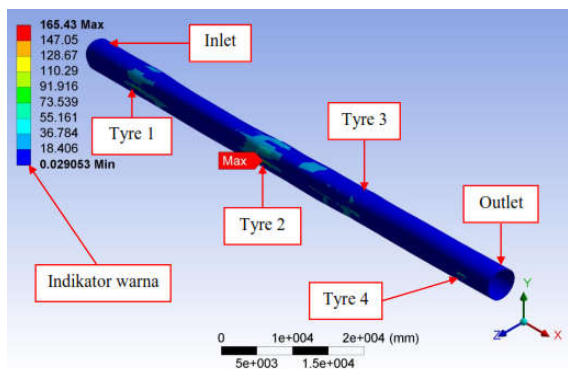
pada kondisi ideal akibat beban mekanik. Indikator warna pada gambar tersebut memperlihatkan nilai distribusi tegangan yang bekerja di sepanjang shell pada kiln pada kondisi ideal bernilai 0,046 MPa hingga 114,010 MPa. Tegangan tertinggi terjadi pada bagian shell pada kiln di sekitar tumpuan (live ring). Dari gambar 6 dapat diketahui nilai tegangan maksimum yang bekerja pada shell pada kiln adalah sebesar 114,010 MPa dan juga lokasinya yang berada pada bagian samping di tumpuan 2 (tyre 2). Hal ini disebabkan karena pemodelan tumpuan yang hanya menumpu setengah bagian dari shell kiln. Selain itu, nilai tegangan maksimum pada shell pada kiln juga disebabkan karena pada tumpuan 2 (tyre 2) mengalami pembebanan paling besar karena adanya girth gear.



Gambar 6. Distribusi tegangan sebelum terjadinya penipisan

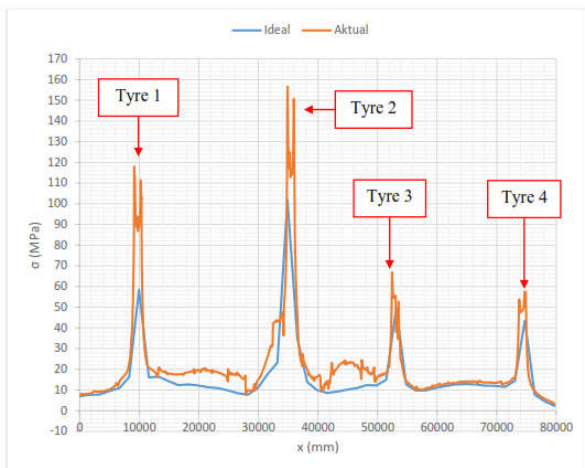
Gambar 7 memperlihatkan distribusi nilai tegangan setelah penipisan yang terjadi di sepanjang shell pada kiln pada kondisi aktual akibat beban mekanik. Indikator warna pada gambar 7 memperlihatkan nilai distribusi tegangan yang bekerja di sepanjang shell pada kiln pada kondisi ideal bernilai 0.029 MPa hingga 165.430 MPa. Dari gambar 7 dapat diketahui nilai tegangan maksimum yang

bekerja pada *shell* pada *kiln* adalah sebesar 165.430 MPa dan juga lokasinya yang berada pada bagian samping di tumpuan 2 (*tyre 2*). Hal ini disebabkan karena pemodelan tumpuan yang hanya menumpu setengah bagian dari *shell kiln*. Selain itu, nilai tegangan maksimum pada *shell* pada *kiln* juga disebabkan karena pada tumpuan 2 (*tyre 2*) mengalami pembebanan paling besar karena adanya *girth gear*.



**Gambar 7.** Distribusi tegangan setelah terjadinya penipisan

Gambar 8 menunjukkan bahwa penipisan *shell* pada *kiln* menyebabkan naiknya tegangan yang bekerja pada *shell* secara signifikan. Tegangan yang terjadi pada daerah yang mengalami penipisan, yaitu sekitar *live ring* kedua (di dekat *Girth Gear*), mengalami kenaikan tegangan dari sekitar 114 MPa menjadi 165 MPa. Dengan demikian telah terjadi peningkatan tegangan lebih dari 50%. Peningkatan tegangan sebesar 50% akan menurunkan factor keamanan sebesar 30% lebih. Tegangan luluh material *shell* pada *kiln* bernilai 410 MPa, maka faktor keamanan pada *shell* pada *kiln* kondisi aktual bernilai 2,478. Selain itu penipisan dapat menyebabkan munculnya retakan-retakan awal yang akibat beban dinamik selanjutnya akan menjalar dan dapat menyebabkan kegagalan berupa sobekan pada *shell kiln*.



**Gambar 8.** Perbandingan distribusi tegangan pada *shell* pada *kiln* kondisi ideal dan setelah terjadinya penipisan

Sebagai catatan perlu dilakukan analisis beban *fatigue* lebih lanjut, karena penipisan tidak merata akan menyebabkan timbulnya konsentrasi tegangan, tegangan yang bekerja pada *shell* pada *kiln* kondisi ideal sebesar 0 – 165.43 MPa artinya fluktuasi beban sangat besar. Selain itu kondisi permukaan *shell* yang terkorosi mengakibatkan permukaan *shell* menjadi kasar sehingga ketahanan lelah menjadi menurun.

### Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa penipisan yang terjadi pada beberapa bagian *kiln* Indarung IV meningkatkan tegangan yang bekerja mencapai 50%. Tegangan maksimal berada di *Tyre 2* dengan nilai pada tebal *shell* pada *kiln* kondisi awal sebesar 114,01 MPa sedangkan pada tebal *shell* pada *kiln* aktual sebesar 165,43 MPa. Tegangan luluh material *shell* pada *kiln* bernilai 410 MPa, maka faktor keamanan pada *shell* pada *kiln* kondisi aktual bernilai hanya sekitar 2,5. Selain itu penipisan dapat menyebabkan munculnya retakan-retakan awal yang akibat beban dinamik selanjutnya akan menjalar dan dapat menyebabkan kegagalan berupa sobekan pada *shell* pada *kiln*.

### Referensi

- [1] N. Shabana, Cement Rotary Kiln-Question and Answer, Qatar Cement Company, Qatar, 2013
- [2] M. Ono and H. Kozuka, Damage of Refractory Bricks Lined in Cement Rotary Kiln, Tehran International Conference on Refractories, 4-6 May 2004, pp. 515-523.
- [3] M. Maziarz and E. Tasak, Case study of fatigue failures in the support rings of a cement kiln, International Journal of Fatigue 14 (1992) pp 84-90.
- [4] R. Afdillah, Analisis Statik Kiln Akibat Beban Statik, Padang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, 2007.
- [5] M. Bur, M. Rusli, E. Zedrosky, M. Saksono, T. Sembiring, Mardian, Pengembangan Metode Penghitungan Praktis Berbasis Metode Superposisi Untuk Analisis Statik Kiln (Studi Kasus Kiln Indarung IV PT. Semen Padang), Proshiding SNTTM VIII 2009 Semarang, pp. 1570-1581.