

## Aplikasi Metode Elemen Hingga Pada Simulasi Strong Bar Dalam Memperkuat Tyre Yang Telah Mengalami Keretakan

Sutikno, Suwarmin dan Indra Sidharta

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin  
Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: sutikno\_its@yahoo.com

### Abstrak

Pada industri semen, tyre digunakan untuk mendukung kiln yang berotasi dan menahan beban material semen dengan laju hingga 500 ton per jam dengan temperatur yang cukup tinggi. Temperatur yang dialami tyre akibat interaksinya dengan kiln mampu mencapai temperatur hingga kisaran 200°C–300°C. Tyre difabrikasi secara job order atau berdasarkan permintaan. Oleh karena itu proses penggantian tyre memerlukan waktu yang lama. Kegagalan tyre yang terjadi secara mendadak atau diluar planning memerlukan alternatif penangan dalam menahan dan atau memperpanjang cycle dari tyre tersebut. Salah satu alternatif yang digunakan untuk memperpanjang life cycle dari tyre yang mengalami keretakan adalah dengan memasang strong bar pada lokasi terjadinya keretakan. Pada penelitian ini, simulasi dengan metode elemen hingga dilakukan pada strong bar. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan strong bar dalam memperkuat tyre yang telah mengalami keretakan. Kemampuan strong bar dievaluasi pada dua kondisi yaitu: (1) pada tyre telah mengalami keretakan dan (2) pada tyre telah mengalami kegagalan atau patah. Tegangan maksimum yang terjadi strong bar dan tyre pada kedua kondisi tersebut dibandingkan terhadap tegangan maksimum yang terjadi pada tyre pada kondisi tanpa retak dan juga tyre yang telah retak tanpa menggunakan strong bar. Hasil simulasi pada model tyre yang telah mengalami keretakan dan telah dipasang strong bar menunjukkan bahwa pemasangan strong bar mengakibatkan penurunan tegangan pada crack tip dan daerah kritis berada di daerah sambungan antara tyre dengan strong bar. Tegangan maksimum yang terjadi pada tyre mempunyai nilai sedikit dibawah kemampuan material tyre – tensile strength. Adanya beban-kejut, meski dengan nilai yang kecil, dapat menyebabkan retak mengalami propagasi lebih lanjut dan failure akan terjadi. Kecepatan propagasi keretakan tergantung pada posisi dan geometri retak yang exist pada tyre. Sedangkan dari hasil simulasi pada model tyre yang telah mengalami kegagalan atau patah, pemasangan strong bar tetap tidak mampu menahan tyre karena tegangan maksimum yang terjadi melebihi batas kekuatan material.

**Keywords:** Tyre Kiln, Elemen Hingga, Retak, Failure

### Pendahuluan

Pada industri semen, tyre digunakan untuk mendukung kiln yang berotasi dan menahan beban material semen dengan temperatur yang cukup tinggi. Temperatur yang dialami tyre akibat interaksinya dengan kiln mampu mencapai temperatur hingga kisaran 200°C – 300°C. Secara umum tyre dibuat dari high strength cast steel dengan tambahan paduan utama Mn sampai dengan 1.5% (Alan, 1985). Tyre difabrikasi secara job order atau berdasarkan permintaan. Oleh karena itu proses penggantian tyre memerlukan waktu yang lama, apabila terjadi kegagalan dan diperlukan penggantian tyre. Kegagalan tyre ini dapat disebabkan oleh

beberapa faktor eksternal antara lain: vertikal load, thermal load dan pada umumnya akibat fatigue (Alan, 1985). Kegagalan dapat pula diakibatkan oleh faktor internal yaitu adanya porosity, void dan inklusi (Pekko, 2004); atau penyebab-penyebab lain akibat casting defect (Teresa, 2009). Kegagalan tyre yang terjadi secara mendadak diluar planning memerlukan alternatif penangan. Hal ini ditujukan untuk menahan dan atau memperpanjang life cycle dari tyre tersebut agar operasi produksi tetap dapat berjalan hingga tyre pengganti telah tersedia, sehingga kerugian secara ekonomi dapat ditekan. Selain metode metal lock and stitching atau penjahitan logam seperti ditunjukkan pada gambar 1, salah satu alternatif yang digunakan

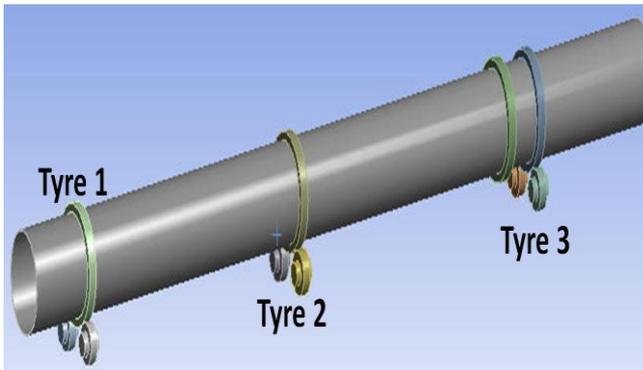
untuk memperpanjang life cycle dari tyre yang mengalami keretakan adalah dengan memasang strong bar pada lokasi terjadinya keretakan. Penguatan tyre dengan strong bar ini dipilih karena lebih mudah dan dapat dilakukan dengan cepat. Tetapi keandalan penggunaan strong bar ini perlu diuji lebih lanjut. Pada penelitian ini, simulasi dengan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui kemampuan strong bar dalam menyangga tyre yang mengalami keretakan (cracks) dan yang telah mengalami kegagalan (fractured).



Gambar 1. Metal lock and Stitch (www.locknstitch.com)

**Metode Simulasi**

Kiln dan Tyre dimodelkan sebagai struktur dimana semua beban (kiln, brick, gear, material semen dan lainnya) ditahan oleh tyre. Pemodelan dilakukan pada struktur diatas dengan menggunakan metode elemen hingga. Model kiln dan tyre, berikut posisi-posisi tyre pada kiln ditampilkan pada gambar 2.

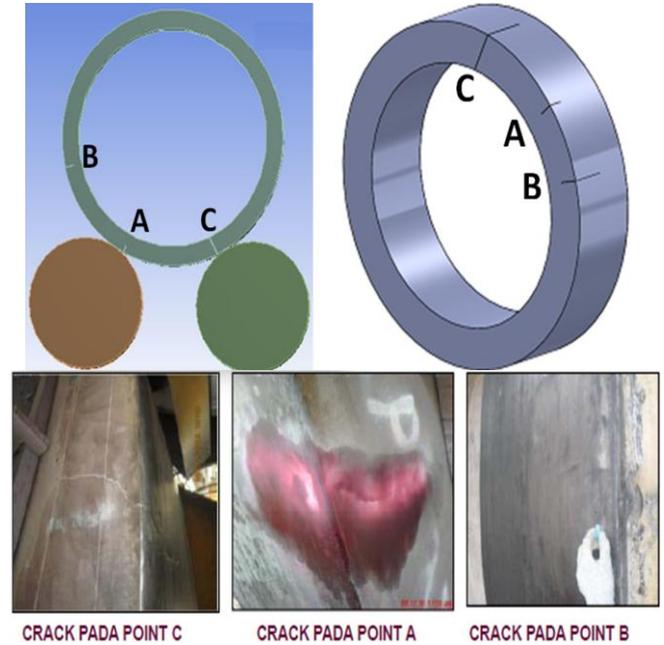


Gambar 2. Model kiln dan posisi tyre pada kiln

Kemampuan strong bar dievaluasi pada dua kondisi yaitu: (1) pada tyre yang mengalami keretakan dan (2) pada tyre telah mengalami kegagalan atau patah. Tegangan maksimum yang terjadi strong bar dan tyre pada kedua kondisi tersebut dibandingkan terhadap tegangan maksimum yang terjadi pada tyre pada kondisi ideal -tanpa retak- dan juga tyre yang telah retak tanpa menggunakan strong bar.

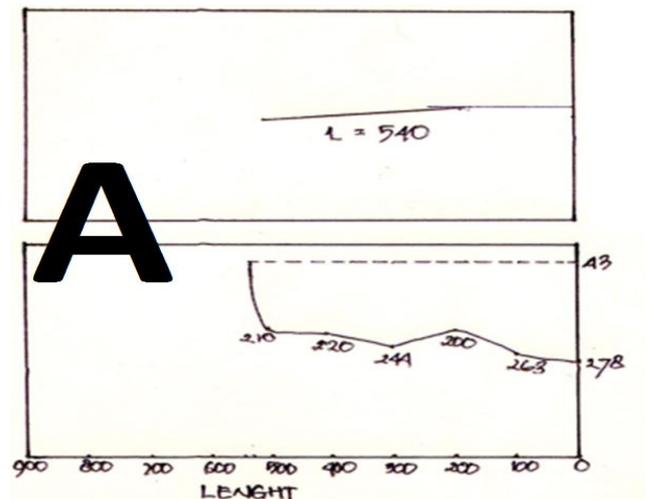
Data yang berhubungan dengan operasi kiln dan tyre diasumsikan sebagai berikut. Berat shell 500 ton, brick 1000 ton, main gear 15 ton, tyre 70 ton, material 500 ton dan putaran 2 rpm. Sedangkan material tyre dan

strong bar diasumsikan masing-masing mempunyai tensile strength 240 MPa dan 350 MPa. Evaluasi difokuskan pada salah satu tyre saja, yaitu tyre 2. Cracks yang terjadi pada tyre 2 dan model cracks pada tyre ditampilkan pada gambar 3. Terdapat 3 keretakan pada tyre dan diberi kode A, B dan C. Posisi keretakan pada tyre beserta dengan foto-foto keretakan digambarkan pada model seperti ditampilkan pada gambar 3.

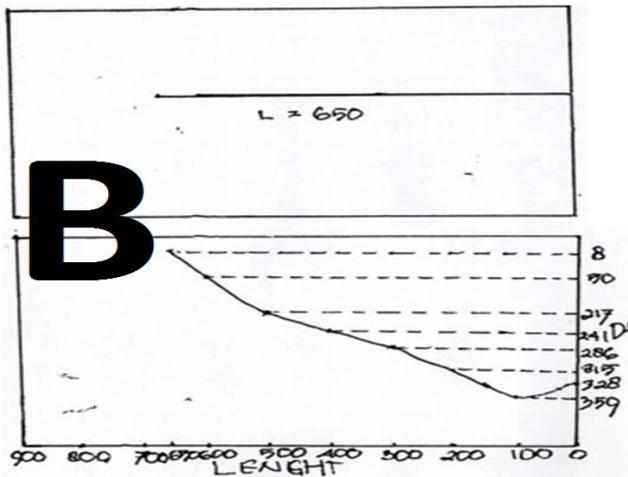


Gambar 3. Cracks pada tyre

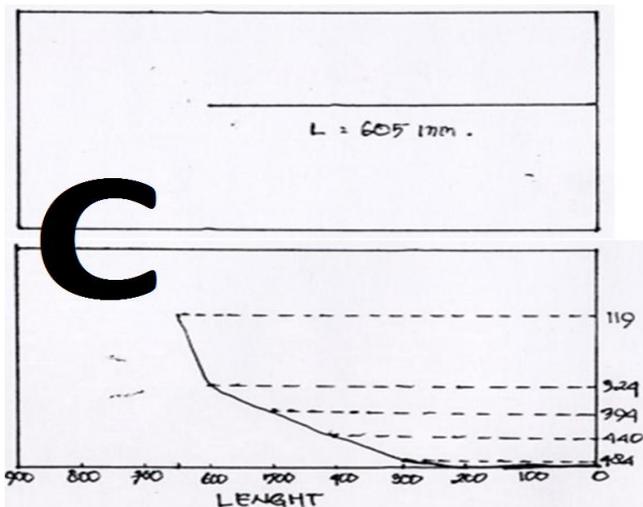
Profil cracks pada tyre ditampilkan pada gambar 4a, gambar 4b dan gambar 4c berikut. Masing-masing crack mempunyai geometri crack yang berbeda-beda. Hasil pengukuran terhadap keretakan-keretakan tersebut dengan ultrasonic equipment menghasilkan data keretakan pada tyre yang diplotkan pada gambar-gambar berikut.



Gambar 4a. Profil crack A pada tyre



Gambar 4b. Profil crack B pada tyre

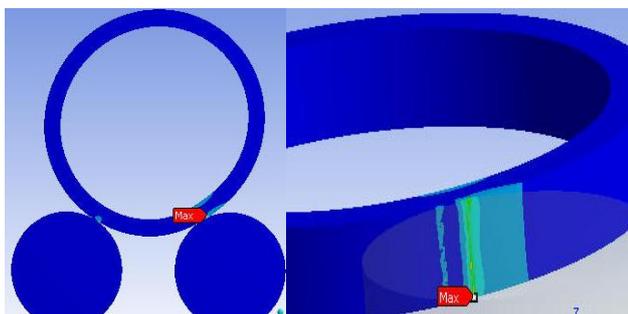


Gambar 4c. Profil crack C pada tyre

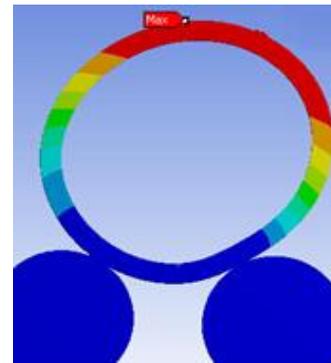
**Hasil dan Pembahasan**

**1. Model 1 - Tyre tanpa Cracks**

Hasil simulasi terhadap tyre tanpa cracks menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 193.7 MPa terjadi sisi luar tyre. Sisi tersebut adalah sisi tyre yang kontak langsung dengan roller atau support, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa crack diinisiasi dari sisi luar tyre. Deformasi maksimum yang terjadi pada tyre hasil simulasi dengan metode elemen hingga juga ditampilkan pada gambar 6.



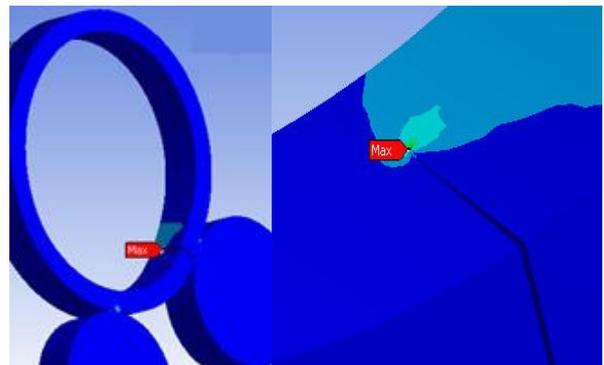
Gambar 5. Tegangan maksimum pada tyre



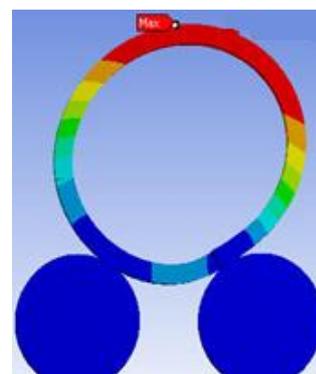
Gambar 6. Deformasi maksimum pada tyre

**2. Model 2 - Tyre dengan Cracks**

Hasil simulasi terhadap tyre dengan cracks menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 285.7 MPa terjadi pada crack tip C, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Hasil simulasi ini sesuai dengan teori bahwa adanya crack menyebabkan munculnya stress konsentrasi, dan lokasi kritisnya adalah diujung crack atau crack tip. Deformasi yang terjadi pada tyre hasil simulasi dengan metode elemen hingga juga ditampilkan pada gambar 8. Deformasi maksimum hasil simulasi terhadap model 1 dan model 2 tidak mengalami perbedaan yang signifikan.



Gambar 7. Tegangan maksimum pada tyre



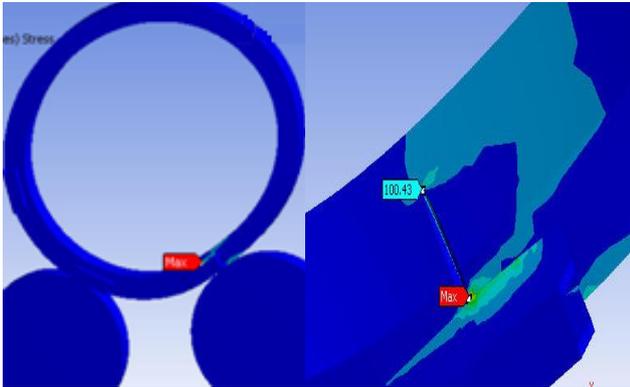
Gambar 8. Deformasi maksimum pada tyre

**3. Model 3 – Tyre dengan Cracks dan Strong Bar**

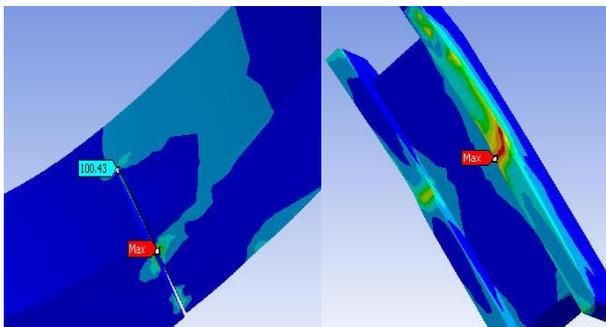
Hasil simulasi terhadap tyre dengan cracks dan strong bar menunjukkan bahwa dengan adanya strong bar

yang dipasang pada tyre, tegangan pada crack jenis C turun dari 285.7 MPa menjadi 100.4 MPa. Tegangan maksimum sebesar 230.7 MPa terjadi pada sambungan antara tyre dengan strong bar dilokasi crack C, seperti ditunjukkan pada gambar 9 dan 10. Tegangan sebesar 230.7 MPa tersebut terjadi pada tyre tepatnya pada sambungan antara tyre dengan strong bar, sedangkan pada strong bar (pada sambungan) tegangan yang terjadi sebesar 152.2 Mpa. Pada 3 ini deformasi pada tyre juga mengalami perubahan yang signifikan seperti ditunjukkan pada gambar 11.

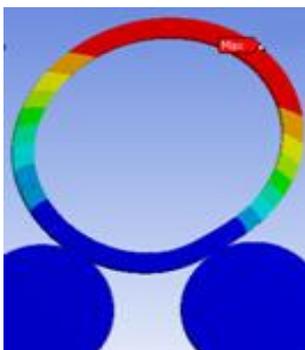
Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi lebih rendah kekuatan materialnya. Nilai tegangan maksimum yang hanya bernilai sedikit dibawah kemampuan material tersebut cukup kritis dalam menyangga tyre. Dalam kondisi ini, apabila terjadi beban kejut, meskipun dengan nilai yang kecil akan dapat menyebabkan cracks mengalami propagasi lebih lanjut dan kegagalan lebih dini bisa terjadi (Dusil, 1978).



Gambar 9. Tegangan maksimum pada tyre



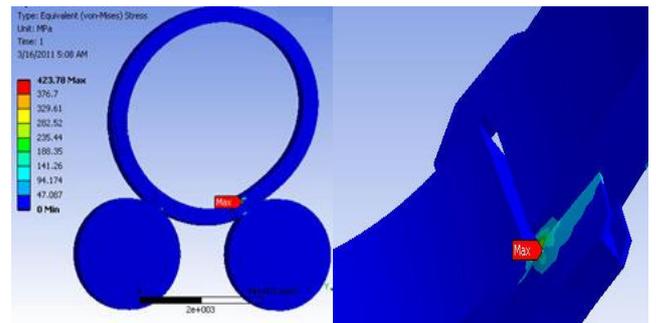
Gambar 10. Tegangan maksimum pada strong bar



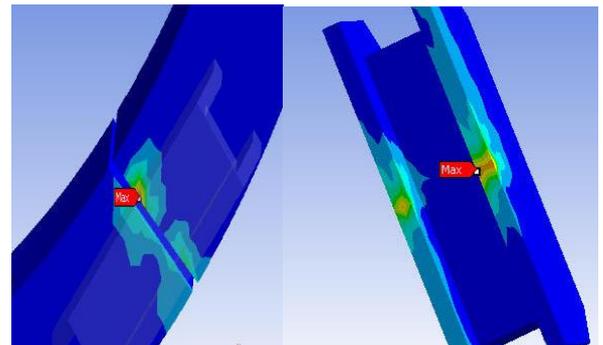
Gambar 11. Deformasi maksimum pada tyre

4. Model 4 – Fractured Tyre dengan Strong Bar

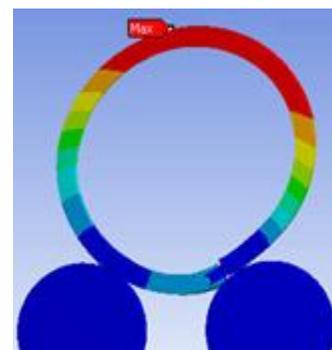
Hasil simulasi terhadap tyre yang telah mengalami kegagalan (fractured) dan strong bar menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 423.8 MPa terjadi pada sambungan antara tyre dengan strong bar dilokasi crack C, seperti ditunjukkan pada gambar 12, dan 13. Tegangan sebesar 399.4 MPa tersebut terjadi pada material tyre tepatnya pada sambungan antara tyre dengan strong bar, sedangkan pada strong bar (pada sambungan) tegangan yang terjadi sebesar 423.8 Mpa. Kedua nilai tegangan tersebut berada diatas batas kemampuan material dari tyre maupun strong barnya. Area yang merupakan lokasi kritis adalah sambungan antara tyre dan strong bar. Sedangkan deformasi maksimum yang terjadi pada tyre kembali pada posisi seperti pada model 1 dan model 2, ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 12. Tegangan maksimum pada tyre



Gambar 13. Tegangan maksimum pada strong bar



Gambar 14. Deformasi maksimum pada tyre

Hasil simulasi dengan metode elemen hingga pada model struktur tyre dan strong bar ditabulasikan pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Tegangan dan Deformasi pada Tyre dan Strong Bar

		Model 1 (MPa)	Model 2 (MPa)	Model 3 (MPa)	Model 4 (MPa)
Tegangan maksimum	Crack A	-	30.04	19.04	-
	Crack B	-	34.35	20.51	-
	Crack C	-	285.7	103.4	-
	Tyre	193.68	285.7	230.4	399.39
	Strong Bar	-	-	152.2	423.78
Kekuatan Material	Tyre	240	240	240	240
	Strong Bar	-	-	350	350
Deformasi Maksimum		6.77	7.67	4.31	6.33

## Kesimpulan

Dari hasil simulasi dengan metode elemen hingga terhadap tyre baik untuk tyre dalam kondisi tanpa keretakan, tyre dengan keretakan maupun pada tyre yang telah mengalami kegagalan (fractured) didapatkan hasil sebagai berikut:

Hasil simulasi model 3 yaitu tyre yang mengalami crack dengan strong bar menunjukkan bahwa tegangan maksimum bernilai sedikit dibawah kemampuan material tyre sehingga cukup berisiko. Adanya beban kejut dengan nilai yang kecil dapat menyebabkan cracks mengalami propagasi lebih lanjut dan failure akan terjadi.

Hasil simulasi model 4 yaitu pada tyre yang telah mengalami kegagalan (fractured) dengan strong bar menunjukkan bahwa tegangan yang timbul lebih besar daripada kekuatan material tyre maupun strong bar, sehingga strong bar tidak mampu menyangga tyre apabila kondisi tyre sudah patah.

## Referensi

Alan E. Bowen, Benno Saxer, Causes and Effects of Kill Tire Problems, IEEE Trans. on Industry Application Vol 1A (1985)

Pekko Juvonnen, Effects of Non Metallic Inclusion on Fatigue Properties of Calcium Treated Steels, Doctoral Thesis in Helsinki University of Technology (2004)

Teresa Morgado, A. Sousa e Brito, and C. Moura Branco, Influence of Casting Defects on Fatigue Limit of a Steel Cast Railway Component, 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure (2009)

R. Dusil and B. Johnansson, Fatigue Fracture Behaviour of Impact Loaded Compressor Valves, International Compressor Engineering Conference (1978)