

## M7-018 Pengembangan Metode Penghitungan Praktis Berbasis Metode Superposisi untuk Analisis Statik Kiln (Studi Kasus *Kiln* Indarung IV PT. Semen Padang)

Mulyadi Bur<sup>1</sup>, Meifal Rusli<sup>2</sup>, Eka Zedrosky<sup>3</sup>  
Minto Saksono<sup>4</sup>, Tarlo Sembiring<sup>5</sup> dan Mardian<sup>6</sup>

<sup>123</sup>Laboratorium Dinamika Struktur Jurusan Teknik Mesin UNAND  
Kampus Unand Limau Manis Padang 25263

<sup>456</sup>Departemen Rancang Bangun dan Rekayasa, PTSP  
Jalan Raya Indarung, Padang  
e-Mail: mulyadibur@ft.unand.ac.id

### ABSTRACT

*Kiln merupakan komponen yang berperan cukup penting dalam industri semen. Masalah yang biasa menjadi perhatian adalah masalah tegangan yang bekerja dan lendutan yang terjadi. Biasanya kiln dianalisis dengan menggunakan paket program Elemen Hingga yang cukup kompleks, rumit dan mahal. Oleh karena itu, diusulkan untuk dibuat sebuah program yang mudah penggunaannya, murah dan cukup ketelitannya. Dalam hal ini dipilih paket program "spreadsheet" yang salah satunya dari Microsoft Excel. Pemilihan paket program ini disamping seperti yang disebutkan di atas tadi juga karena paket ini sudah meluas penggunaannya di kantor-kantor. Berdasarkan paket program ini Beberapa parameter yang dapat dihitung menggunakan program ini adalah reaksi tumpuan, defleksi serta distribusi tegangan pada kiln.*

*Metode analitik yang dipakai pada program penghitungan kiln adalah metode superposisi. Ide dari metode ini adalah mensuperposisikan beban-beban yang komplek menjadi beban sederhana yang jawabannya bisa ditemukan pada buku-buku standar mekhanika kekuatan material. Sebagai pembandingan, dilakukan penghitungan secara numerik menggunakan paket program komersial berdasarkan Metode Elemen Hingga.*

*Sebagai studi kasus dipilih kiln Indarung IV PT Semen Padang. Dari hasil penghitungan analitik dan numerik dengan asumsi penampang kiln seragam didapatkan error maksimum sebesar 0.607 % untuk reaksi tumpuan dan 1.258% untuk defleksi. Gaya reaksi tumpuan maksimum yang diperoleh adalah sebesar  $4.701 \times 10^6$  dan defleksi maksimum sebesar 0.628 mm.*

*Keywords: Kiln, metode superposisi, defleksi, tegangan*

### 1. Pendahuluan

Komponen yang selalu menjadi pertimbangan utama dalam perancangan sebuah pabrik semen adalah *kiln*, karena kapasitas dari pabrik semen dapat digambarkan oleh kapasitas *kiln*. Perbaikan dan penggantian komponen *kiln* haruslah dilakukan dengan cepat, tepat dan efisien baik dari segi waktu maupun biaya, sehingga proses pembuatan semen tidak banyak terganggu. Pengetahuan mengenai

---

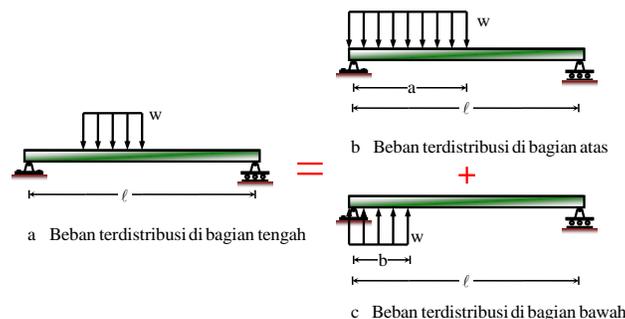
besarnya pembebanan, defleksi dan distribusi tegangan yang bekerja sepanjang *shell kiln* akan sangat membantu dalam pengambilan keputusan sebelum perbaikan ataupun penggantian komponen *kiln*. Beberapa parameter yang penting untuk diketahui pada *kiln* adalah reaksi tumpuan, defleksi, dan tegangan.

Penghitungan terhadap reaksi tumpuan, defleksi dan tegangan *kiln* dilakukan secara numerik dan analitik. Penghitungan analitik dilakukan dengan metode superposisi yang diaplikasikan dengan membuat sebuah program penghitungan *kiln* pada Microsoft Excel. Program ini dapat digunakan untuk menghitung reaksi tumpuan, defleksi dan distribusi tegangan sepanjang *shell kiln*. Selanjutnya penghitungan numerik dilakukan menggunakan Metode Elemen Hingga. Metode ini sudah banyak dikembangkan dan sudah diintegrasikan dalam satu bentuk paket-paket program siap pakai yang dikenal sebagai paket program komersial MEH.

## 2. Tinjauan Pustaka

### Metode Superposisi

Ketika sebuah balok mengalami pembebanan yang kompleks dalam bentuk beberapa buah gaya terpusat, gaya terdistribusi dan momen, maka penghitungan terhadap defleksi sudut dan defleksi struktur akan lebih cepat dan mudah melakukan dengan cara memisahkan struktur menjadi beberapa bagian berdasarkan jenis atau jumlah pebebanan yang dialami yang biasanya disebut dengan metode superposisi. Prinsip dari metode superposisi menyatakan bahwa defleksi sudut dan defleksi pada sebuah balok yang dibebani secara kombinasi, dapat diperoleh dari penjumlahan linier masing-masing defleksi akibat tiap-tiap pembebanan. Masing-masing defleksi untuk pembebanan yang standar dapat dilihat pada tabel defleksi balok [4]. Berikut contoh struktur yang mengalami pembebanan pada bagian tengah struktur ditunjukkan oleh Gambar 1(a). Langkah yang dilakukan dalam mengaplikasikan metode superposisi adalah dengan membagi struktur berdasarkan bentuk pembebanan yang mudah dihitung secara analitik. Untuk menghitung defleksi dan defleksi sudut struktur tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 1(b) dan 1(c).



**Gambar 1** Superposisi pembebanan struktur

Penghitungan terhadap besarnya defleksi akibat pembebanan dilakukan menggunakan metode superposisi. Struktur pada Gambar 1(a) dipisahkan menjadi dua bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(b) dan Gambar 1 (c). Kemudian untuk menghitung besarnya defleksi dan defleksi sudut total

pada struktur, dilakukan penghitungan pada masing-masing bentuk struktur baru tersebut. Pertama dilakukan penghitungan defleksi dan defleksi sudut seperti yang ditunjukkan Gambar 1(b), dimana persamaan untuk defleksi adalah /5/

$$v = \frac{wx}{24\ell EI} \left( \begin{matrix} a^4 - 4a^3\ell + 4a^2\ell^2 \\ +2a^2x^2 - 4a\ell x^2 + \ell x^3 \end{matrix} \right) \dots\dots 0 \leq x \leq a \quad (2.1)$$

$$v = \frac{wx}{24\ell EI} \left( \begin{matrix} -a^2\ell + 4\ell^2x + a^2x \\ -6\ell x^2 + 2x^3 \end{matrix} \right) \dots\dots a \leq x \leq \ell \quad (2.2)$$

dan persamaan defleksi sudutnya adalah /5/

$$v' = \frac{w}{24\ell EI} \left( \begin{matrix} a^4 - 4a^3\ell + 4a^2\ell^2 \\ +6a^2x^2 - 12a\ell x^2 + 4\ell x^3 \end{matrix} \right) \dots\dots 0 \leq x \leq a \quad (2.3)$$

$$v' = \frac{wa^2}{24\ell EI} (4\ell^2 + a^2 - 12\ell x + 6x^2) \dots\dots a \leq x \leq \ell \quad (2.4)$$

Selanjutnya juga dihitung besarnya defleksi sudut dan defleksi akibat pembebanan akibat beban terdistribusi seperti terlihat pada Gambar 1(c). Persamaan defleksi nya adalah sebagai berikut /5/

$$v = \frac{wx}{24\ell EI} \left( \begin{matrix} b^4 - 4b^3\ell + 4b^2\ell^2 \\ +2b^2x^2 - 4b\ell x^2 + \ell x^3 \end{matrix} \right) \dots\dots 0 \leq x \leq b \quad (2.5)$$

$$v = \frac{wx}{24\ell EI} \left( \begin{matrix} -b^2\ell + 4\ell^2x + b^2x \\ -6\ell x^2 + 2x^3 \end{matrix} \right) \dots\dots b \leq x \leq \ell \quad (2.6)$$

dan persamaan defleksi sudutnya adalah /5/

$$v' = \frac{w}{24\ell EI} \left( \begin{matrix} b^4 - 4b^3\ell + 4b^2\ell^2 \\ +6b^2x^2 - 12b\ell x^2 + 4\ell x^3 \end{matrix} \right) \dots\dots 0 \leq x \leq b \quad (2.7)$$

$$v' = \frac{wb^2}{24\ell EI} (4\ell^2 + b^2 - 12\ell x + 6x^2) \dots\dots b \leq x \leq \ell \quad (2.8)$$

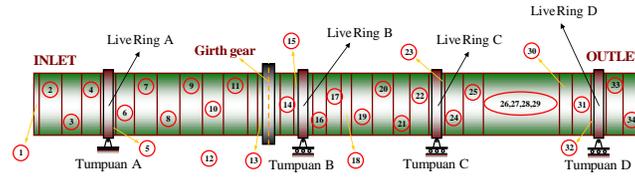
Besarnya defleksi dan defleksi sudut total pada titik yang diamati didapatkan dengan menggabungkan hasil penghitungan masing-masing persamaan defleksi untuk posisi nilai x yang sama.

### 3. Metodologi Penghitungan *Kiln*

#### 3.1 Data *Kiln*

*Kiln* Indarung IV berbentuk sebuah silinder yang terbuat dari plat baja dengan diameter dalam 5.000 m dan panjang total 79.707 m serta mempunyai nilai diameter luar yang bervariasi, hal sesuai ketebalan pada masing-masing segmennya. Struktur *kiln* tersebut ditumpu oleh empat buah tumpuan yaitu tumpuan A, B, C, dan D seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

---



**Gambar 2** Model *kiln* Indarung IV

Secara keseluruhan material yang digunakan untuk *shell kiln* ini adalah Baja karbon St37 dengan karakteristik sebagai berikut :

- Modulus Elastisitas  $E = 210 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$
- Kekuatan luluh  $\sigma_y = 370 \text{ MPa} = 370 \text{ N/mm}^2$
- Poison rasio  $\nu = 0.3$
- Massa jenis  $\rho = 7.8 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
- Koefisien muai  $\alpha = 1.1512 \cdot 10^{-5} / \text{K}$
- Modulus Geser  $G = 80769.2 \text{ MPa} = 80769.2 \text{ N/mm}^2$

### 3.2 Pemodelan *Kiln* Dua Dimensi

Pada penghitungan terhadap reaksi tumpuan, *kiln* dimodelkan sebagai sebuah struktur balok kontiniu dua dimensi yang ditumpu oleh empat buah tumpuan.

#### 3.2.1 Pemodelan Beban Pada *Kiln*

Beban total yang bekerja pada *kiln* ini terdiri dari beban statik akibat berat sendiri dari material *shell kiln* ditambah dengan baban-baban lain berupa komponen-komponen yang melekat pada *shell kiln* serta material *charge* yang dibakar di dalam *kiln*. Secara keseluruhan beban-beban statik tersebut diantaranya adalah berat *shell kiln* ( $Q_{shell}$ ), batu tahan api ( $Q_{fbr}$ ), berat *coating* ( $Q_{ct}$ ), berat klinker ( $Q_{kl}$ ), berat *live ring* ( $F_{lr}$ ), berat *pad* ( $F_{pad}$ ) pada *live ring*, berat *girth gear* ( $F_{gear}$ ). Bentuk total pembebanan sepanjang *shell kiln* ditunjukkan pada Gambar 3.

#### 3.2.2 Pemodelan Tumpuan Pada *Kiln*

*Live ring* pada *kiln* indarung IV ditumpu oleh dua *supporting roler* dan dua *thrust roller*, dimana pemodelan tumpuan pada *kiln* dilakukan dengan mengasumsikan tumpuan A sebagai tumpuan tetap dan tumpuan lainnya sebagai tumpuan rol seperti terlihat pada Gambar 3.

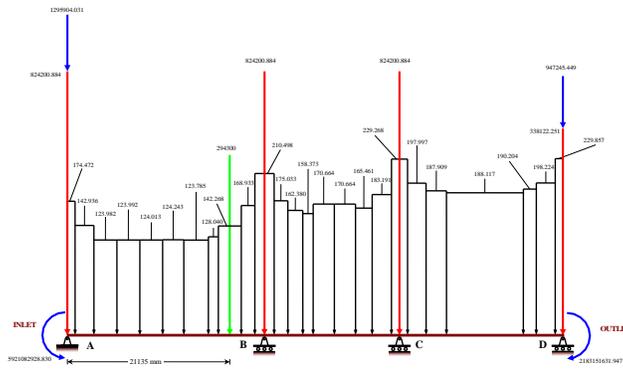
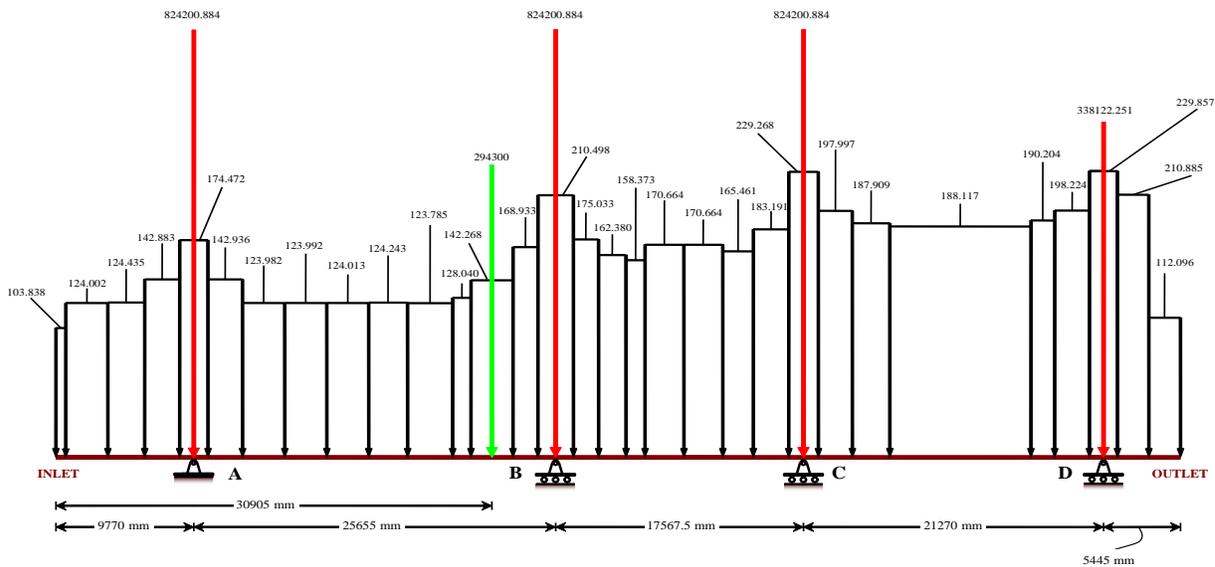
### 3.3 Penghitungan Reaksi Tumpuan

Reaksi tumpuan merupakan bagian yang dihitung terlebih dahulu sebelum menganalisa suatu struktur, karena reaksi tumpuan dapat menggambarkan besarnya pembebanan yang dialami suatu struktur tersebut. Penghitungan reaksi tumpuan *kiln* dua dimensi dilakukan analitik dengan menggunakan metoda superposisi dan dalil 3 momen serta secara numerik dengan menggunakan bantuan perangkat lunak paket program komersial. Penghitungan reaksi tumpuan dilakukan tanpa memasukkan pengaruh gaya terpusat akibat berat *live ring*, dimana gaya terpusat akibat *live ring* dan *pad* nantinya akan menambah hasil perhitungan reaksi tumpuan pada masing-masing tumpuan tersebut. Asumsi yang digunakan dalam penghitungan adalah momen inersia seragam dan momen inersia tidak seragam.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Penghitungan reaksi tumpuan, defleksi dan tegangan dilakukan dengan menggunakan metode superposisi yang diaplikasikan pada program Microsoft Excel. Dalam proses penghitungannya model struktur *kiln* pada Gambar 3 disederhanakan terlebih dahulu dengan membuang kedua bagian *overhang* pada sebelah kiri tumpuan A dan sebelah kanan tumpuan D, sehingga akan muncul beban pengganti berupa gaya vertikal dan momen pada titik A dan D seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

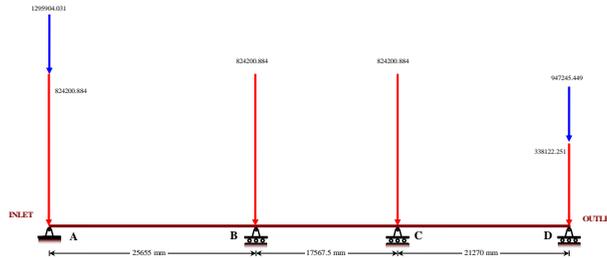
**Gambar 3** Total pembebanan pada sepanjang *shell kiln*



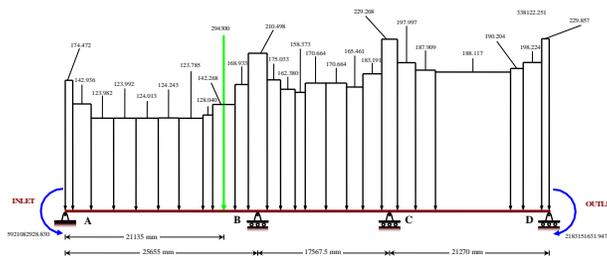
**Gambar 4** Penyederhanan bentuk pembebanan total pada struktur *kiln*

Selanjutnya model pada Gambar 4 disuperposisikan menjadi dua buah model yang lebih sederhana lagi seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penghitungan, karena proses penghitungan yang diaplikasikan pada program Microsoft Excel dilakukan dengan menggunakan metode superposisi.

Gambar 5 menunjukkan semua pembebanan terpusat yang bekerja tepat pada tumpuan, sedangkan Gambar 6 menunjukkan pembebanan selain beban terpusat yang bekerja tepat pada tumpuan.



**Gambar 5** Beban-belan terpusat yang bekerja tepat pada tumpuan *kiln*



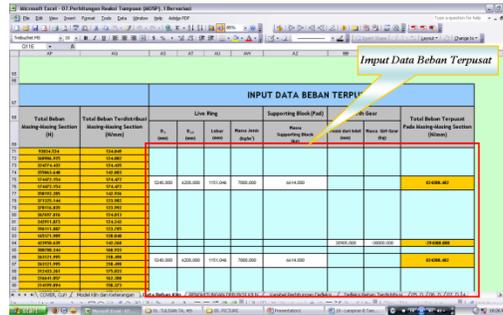
**Gambar 6** Beban-belan selain beban yang bekerja tepat pada tumpuan *kiln*

Selanjutnya data pembebanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6 di inputkan ke dalam program penghitungan *kiln* yang dibuat menggunakan Microsoft Excel. Tampilan penginputan data diterangkan lebih lanjut pada Gambar 7 dan Gambar 8.

**Gambar 7** Tampilan penginputan data beban terdistribusi

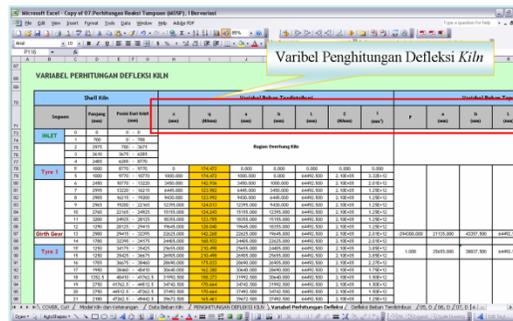
# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

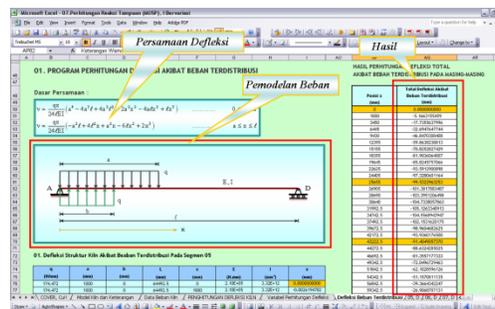


Gambar 8 Tampilan penginputan data beban terpusat

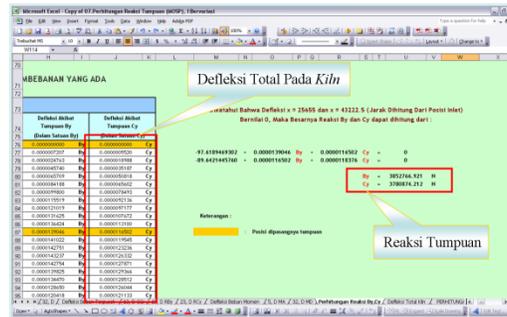
Proses penghitungan akan berlangsung secara otomatis setelah semua data yang diperlukan untuk penghitungan selesai diinputkan. Urutan proses penghitungan yang terjadi didalam program Microsoft Excel adalah penghitungan reaksi tumpuan, defleksi, digram momen dan tegangan. Beberapa bentuk proses penghitungan yang terjadi di dalam Microsoft Excel ditunjukkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12.



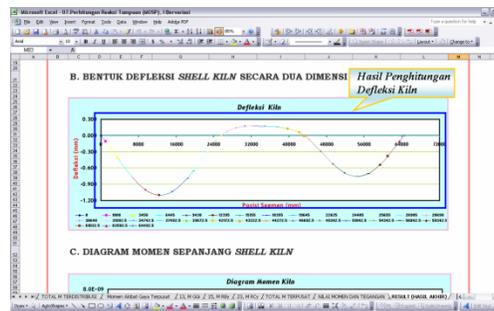
Gambar 9 Tampilan penghitungan variabel-variabel yang dibutuhkan dalam penghitungan



Gambar 10 Tampilan penghitungan defleksi akibat beban terdistribusi



Gambar 11 Tampilan penghitungan reaksi tumpuan



Gambar 4.12 Tampilan hasil penghitungan defleksi kiln

## 4.1 Penghitungan Reaksi Tumpuan Kiln

Pada model kiln dengan asumsi momen inersia penampang seragam, hasil penghitungan reaksi tumpuan menunjukkan bahwa reaksi tumpuan maksimum terjadi pada tumpuan C, yaitu tumpuan ketiga dari inlet. Sementara itu reaksi tumpuan maksimum terjadi pada tumpuan B untuk hasil penghitungan model kiln dengan asumsi momen inersia penampang bervariasi. Reaksi tumpuan minimum terjadi pada tumpuan D baik untuk penghitungan menggunakan asumsi momen inersia penampang seragam ataupun momen inersia bervariasi. Reaksi tumpuan A dinotasikan dengan  $A_y$ , tumpuan B dengan  $B_y$ , Tumpuan C dengan  $C_y$  dan tumpuan D dengan  $D_y$ . Hasil penghitungan menggunakan semua metode di atas diterangkan lebih lanjut pada Tabel 1. Besarnya error yang terjadi untuk masing-masing penghitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil penghitungan reaksi vertikal tumpuan kiln

Penghitungan Menggunakan	Reaksi Tumpuan			
	$A_y$ (N)	$B_y$ (N)	$C_y$ (N)	$D_y$ (N)
Metode Superposisi (I, Seragam)	3877998.817	4423776.838	4701262.969	3135011.169
Pesamaan Tiga Momen (I, Seragam)	3853751.978	4423880.235	4700863.992	3137597.297
Paket program komersial Model 2D (I, Seragam)	3854600.000	4423500.000	4701100.000	3137200.000
Metode Superposisi (I, Bervariasi)	3757250.452	4676967.402	4605074.693	3098757.245

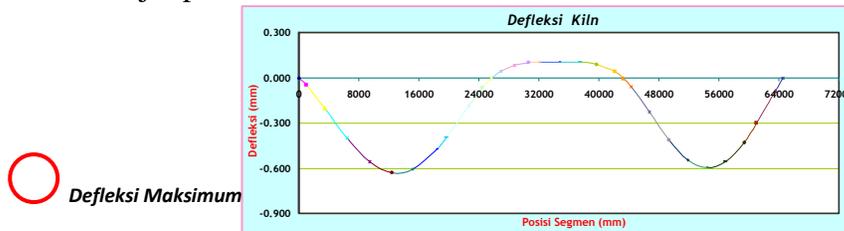
**Tabel 2** Perbandingan *error* hasil penghitungan reaksi tumpuan paket program komersial dengan hasil penghitungan metode superposisi dan persamaan 3 momen untuk asumsi momen inersia penampang seragam

Reaksi Tumpuan	Paket Program Komersial (I, Seragam)	Metode Super Posisi (I, Seragam)		Dalil 3 Momen (I, Seragam)	
	Error (%)	Selisih (N)	Error (%)	Selisih (N)	Error (%)
$A_y$ (N)	0.000	-23398.817	0.607	848.022	0.022
$B_y$ (N)	0.000	-276.838	0.006	-380.235	0.009
$C_y$ (N)	0.000	-162.969	0.003	236.008	0.005
$D_y$ (N)	0.000	2188.831	0.070	-397.297	0.013

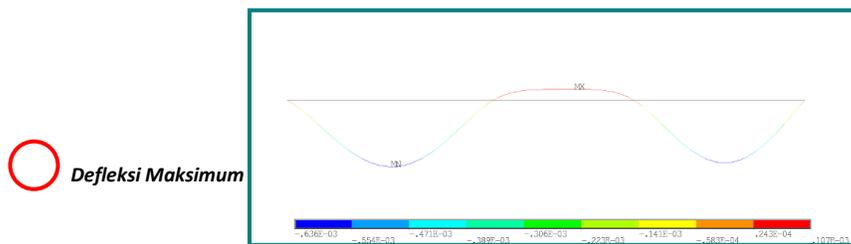
\*Acuan penghitungan *error* adalah hasil penghitungan paket program komersial

## 4.2 Penghitungan Defleksi *Kiln* Akibat Beban Statik

Penghitungan defleksi *kiln* akibat beban statik dilakukan dengan dua cara yaitu secara analitik menggunakan metode superposisi dan numerik menggunakan paket program komersial. Asumsi yang digunakan adalah momen inersia penampang seragam dan momen inersia penampang bervariasi. Hasil penghitungan defleksi *kiln* untuk model dua dimensi dengan asumsi momen inersia penampang seragam secara analitik ditunjukkan pada Gambar 13. Sedangkan hasil penghitungan numerik diterangkan lebih lanjut pada Gambar 14 untuk model dua dimensi

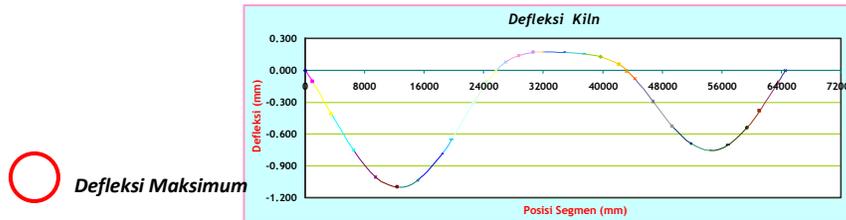


**Gambar 13** Hasil penghitungan metode superposisi (I seragam)



**Gambar 14** Hasil penghitungan paket program komersial (I seragam)

Dari hasil penghitungan pada model dua dimensi menggunakan metode superposisi dan paket program komersial didapatkan defleksi maksimum berturut-turut sebesar 0.628 mm dan 0.636 mm. Selanjutnya hasil penghitungan menggunakan metode superposisi untuk asumsi penampang *kiln* bervariasi ditunjukkan pada Gambar 15



**Gambar 15** Hasil penghitungan metode superposisi (I Bervariasi)

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa defleksi maksimum struktur *kiln* terjadi antara tumpuan A dan B. Besarnya defleksi maksimum yang terjadi adalah 1.098 mm. Selanjutnya defleksi minimum terjadi di dekat tumpuan C yaitu sebesar 0.055 mm.

Hasil penghitungan defleksi diterangkan lebih lanjut pada Tabel 3. Besarnya *error* yang terjadi untuk masing-masing penghitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 3** Hasil penghitungan defleksi struktur *kiln* akibat pembebanan statik dengan asumsi momen inersia penampang seragam

Penghitungan Menggunakan	Defleksi Maksimum (mm)	Defleksi Minimum (mm)
Metode Superposisi (I, Seragam)	0.628	0.105
Paket Program Komersial (I, Seragam)	0.636	0.106
Metode Superposisi (I, Bervariasi)	1.098	0.055

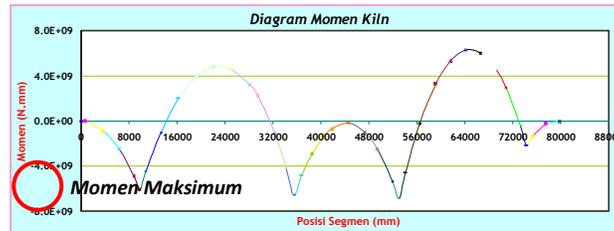
**Tabel 4** Perbandingan *error* hasil penghitungan defleksi struktur *kiln* akibat pembebanan statik dengan asumsi momen inersia penampang seragam

Defleksi (mm)	Paket Program Komersial (I, Seragam)	Metode Super Posisi (I, Seragam)	
	Error (%)	Selisih (mm)	Error (%)
Maksimum	0.000	0.008	1.258
Minimum	0.000	0.001	0.943

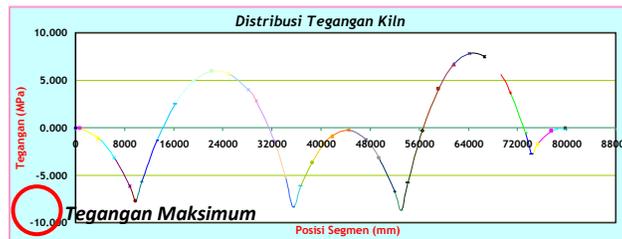
\*Acuan penghitungan *error* adalah hasil penghitungan paket program komersial

#### 4.3 Distribusi Tegangan Sepanjang *Shell Kiln* Akibat Beban Statik

Pada penelitian ini penghitungan tegangan yang terjadi sepanjang *shell kiln* akibat beban statik hanya dilakukan secara analitik menggunakan metode superposisi yang diaplikasikan pada Microsoft Excel. Penghitungan tegangan *kiln* terlebih dahulu diawali dengan penghitungan diagram momen *kiln*. Hasil penghitungan diagram momen menggunakan Microsoft Excel untuk asumsi penghitungan *kiln* mempunyai momen inersia penampang seragam tersebut diterangkan lebih lanjut pada Gambar 16 dan tegangan pada Gambar 17.

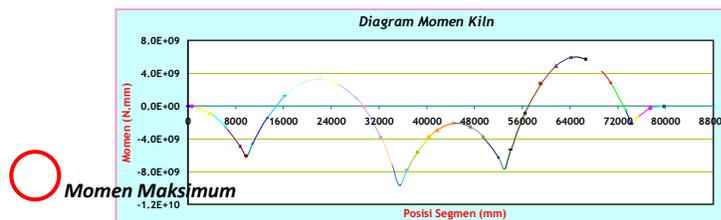


**Gambar 16** Digram momen lentur *shell kiln* akibat beban statik dengan asumsi momen inersia penampang seragam

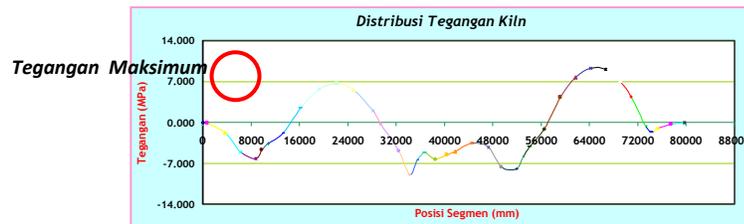


**Gambar 17** Distribusi tegangan *shell kiln* akibat beban statik dengan asumsi momen inersia penampang seragam

Dari hasil penghitungan yang ditunjukkan pada Gambar 16 didapatkan momen maksimum sebesar  $6.875 \times 10^9$  Nmm tepat pada tumpuan C. Kemudian untuk hasil penghitungan tegangan diperoleh tegangan maksimum sebesar 8.698 MPa, terjadi pada jarak 52.992 m dari inlet seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Selanjutnya hasil penghitungan diagram momen menggunakan Microsoft Excel dengan asumsi penghitungan *kiln* mempunyai momen inersia penampang bervariasi diperlihatkan pada Gambar 18 dan distribusi tegangannya pada Gambar 19.



**Gambar 18** Digram momen lentur *shell kiln* akibat beban statik dengan asumsi momen inersia penampang bervariasi



**Gambar 19** Distribusi tegangan *shell kiln* akibat beban statik dengan asumsi momen inersia penampang bervariasi

Dari penghitungan momen lentur dengan asumsi momen inersia bervariasi didapatkan momen lentur maksimum terjadi pada jarak 35.425 m dari inlet (tumpuan B) sebesar  $9.676 \times 10^9$  Nmm seperti diperlihatkan Gambar 18. Kemudian tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 9.348 MPa, terjadi pada jarak 64.112 m dari *inlet* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.

## 5. Penutup

Metode superposisi yang ditulis dengan bahasa pemrograman Excel dapat digunakan untuk menganalisis kiln secara statik. Pengoperasian program dapat dilakukan dengan mudah dan tidak memerlukan keahlian khusus. Berbeda dengan paket program yang dibangun berdasarkan dalil tiga momen /3/, paket program ini dapat digunakan untuk analisis kiln dengan ketebalan shell kiln yang bervariasi. Keluaran programnya memberikan hasil yang cukup teliti dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan. Untuk studi kasus *Kiln Indarung IV PT. Semen Padang* didapatkan *error* maksimum senilai 0.607 % untuk reaksi tumpuan dan 1.258 % untuk defleksi. Gaya reaksi tumpuan maksimum yang diperoleh adalah sebesar  $4.701 \times 10^6$  N terjadi pada tumpuan C dan defleksi maksimum sebesar 0.628 mm terjadi antara tumpuan A dan B. Selanjutnya untuk hasil penghitungan dengan asumsi penampang bervariasi didapatkan defleksi maksimum sebesar 1.098 mm. Sementara itu, dari penghitungan tegangan didapatkan tegangan maksimum sebesar 8.698 MPa untuk hasil penghitungan dengan asumsi penampang seragam dan 9.348 MPa untuk hasil penghitungan dengan asumsi penampang bervariasi.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] **Afdilah, Rinaldi,**  
*Analisis Statik Kiln Akibat Pembebanan Statik,*  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Padang, 2007.
- [2] **Bur, M.; Febrianto, H.**  
*Penghitungan Tegangan Yang Bekerja Pada Live Ring Kiln Indarung III PT Semen Padang.*  
Kerja Sama Penelitian Laboratorium Dinamika Struktur Unand - PT Semen Padang, Padang, 2008.
- [3] **Bur, M.; Febrianto, H.; A**  
*Penghitungan Tegangan Yang Bekerja Pada Live Ring dan Penghitungan Ulang Untuk Pemilihan Material Girt Gear Kiln Indarung V PT Semen Padang .* Kerja Sama Penelitian Laboratorium Dinamika Struktur Unand - PT Semen Padang, Padang, 2008.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

---

- [4] **Bur, M.; dkk.**  
*Penghitungan Praktis Secara Analitik Statik, Gaya-gaya Dalam, Tegangan, dan Lendutan Pada Shell Kiln serta Live Ring Berdasarkan Paket Program Excel*  
Kerja Sama Penelitian Laboratorium Dinamika Struktur Unand - PT Semen Padang, Padang, (Dalam Penulisan).
  - [5] **Timoshenko, S. P.; Gere, J. M.,**  
*Mechanics of Materials, Third Edition*  
Chapman & Hall, Singapore, 1991.
  - [6] **Yang, T. Y.,**  
*Finite Element Structural Analysis,*  
Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey,  
1986.
-