**PERANCANGAN APLIKASI ANALISIS TEGANGAN PADA CRANE UNTUK MENGETAHUI PENGARUH MASSA JENIS TERHADAP TEGANGAN AKIBAT PEMBEBANAN**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian program S-1

Jurusan Teknik Mesin Reguler Sore Fakultas Teknik Unjani

Oleh :

Muhammad Insan Al-Amin NIM : 2114133001

JURUSAN TEKNIK MESIN REGULER SORE



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JENDERAL ACHMAD YANI**

**2016**

# HALAMAN PENGESAHAN

**Tugas Akhir**

**PERANCANGAN APLIKASI ANALISIS TEGANGAN PADA CRANE UNTUK MENGETAHUI PENGARUH MASSA JENIS TERHADAP TEGANGAN AKIBAT PEMBEBANAN**

Oleh :

**Muhammad Insan Al-Amin NIM : 2114133001**

Diterima Oleh :

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Jenderal Achmad Yani

Cimahi, Januari 2016

**Pembimbing I :**

Aji Gumilar, ST. MT.

NID. 412152574

**Ketua Tim Penguji**

Aji Gumilar, ST. MT.

NID. 412152574

**Ketua Jurusan Teknik**

Wirawan Piseno, ST.

NID. 412142964

# LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai mahasiswa Universitas Jenderal Achmad Yani, yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Muhammad Insan Al-Amin

NIM : 2114133001

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Jenderal Achmad Yani, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Perancangan Aplikasi Analisis Tegangan Pada Crane Untuk Mengetahui Pengaruh Massa Jenis Terhadap Tegangan Akibat Pembebanan**.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Jenderal Achmad Yani berhak menyimpan, mengalih-mediakan format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*Database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademik tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan saya sebagai penulis/pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Jenderal Achmad Yani, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam Karya Ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung

Pada Tanggal : 14 Januari 2016

Yang menyatakan

Muhammad Insan Al-Amin

NIM : 2114133001

# ABSTRAK

Skripsi

Perancangan Aplikasi Analisis Tegangan Pada Crane Untuk Mengetahui Pengaruh Massa Jenis Terhadap Tegangan Akibat Pembebanan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh massa jenis batang terhadap tegangan-tegangan yang terjadi pada batang crane *I-beam* akibat pengaruh pembebanan.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya dimana pada penelitian sebelumnya, penghitungan tegangan-tegangan tidak memasukan faktor massa jenis.

Pada penelitian ini dibuat aplikasi berbasis web yang akan menghitung tegangan-tegangan yang terjadi pada batang crane *I-beam* dalam tiga kasus pembebanan yaitu pembebanan pada batang crane dua tumpuan, batang crane cantilever, dan batang crane dengan tali baja.

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan limpahan kasih sayang-Nya yang telah penulis terima selama melaksanakan tugas akhir ini, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang yang telah berperan sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini, antara lain :

1. Aji Gumilar, ST., MT selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, ide, dan pikiran di dalam memberikan pengarahan dalam penulisan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo, Dipl. Ing. selaku Rektor Universitas Jenderal Achmad Yani 2012 - 2016, sekaligus dosen penulis yang sejak 2007 telah memberikan banyak pelajaran yang berharga bagi penulis dalam bidang teknik mesin dan kemahasiswaan.
3. Susanto Sambasri, ST,. MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani.
4. Wirawan Piseno, ST., MT selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani.
5. Segenap dosen dan staff pengajar di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani.
6. Segenap karyawan tata usaha di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani yang dengan sabar melayani urusan-urusan mahasiswa termasuk penulis.
7. Keluarga tercinta yang selama sepuluh tahun dengan sabar menunggu penulis untuk lulus kuliah, tak henti-henti berdoa untuk kelancaran kuliah penulis.
8. Teman-teman yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala petunjuk, kritik, dan saran yang membangun dari pembaca agar dapat menunjang pengembangan dan perbaikan penulisan selanjutnya.

Akhir kata penulis mohon maaf atas kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini dan penulis dengan senang hati menerima saran dan kritik yang membangun dari pembaca.

Semoga tugas akhir ini dapat berguna untuk menambah wawasan dan wacana bagi rekan-rekan mahasiswa.

Cimahi, Januari 2016

Penulis

# DAFTAR ISI

[SAMPUL](#_Toc440647152) i

[HALAMAN PENGESAHAN ii](#_Toc440648645)

[LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK iii](#_Toc440648646)

[ABSTRAK iii](#_Toc440648647)

[KATA PENGANTAR v](#_Toc440648648)

[DAFTAR ISI vii](#_Toc440648649)

[DAFTAR TABEL ix](#_Toc440648650)

[DAFTAR GAMBAR x](#_Toc440648651)

[1. PENDAHULUAN 1](#_Toc440648652)

[1.1 Latar Belakang 1](#_Toc440648653)

[1.2 Rumusan Masalah 2](#_Toc440648654)

[1.3 Tujuan 2](#_Toc440648655)

[1.4 Batasan Masalah 3](#_Toc440648656)

[2. TINJAUAN PUSTAKA 4](#_Toc440648657)

[2.1 Teori Dasar Mekanika 4](#_Toc440648658)

[2.1.1 Pusat Massa 4](#_Toc440648659)

[2.1.2 Gaya 5](#_Toc440648660)

[2.1.3 Momen Lentur 5](#_Toc440648661)

[2.1.4 Tegangan Normal 6](#_Toc440648662)

[2.1.5 Tegangan Geser 7](#_Toc440648663)

[2.1.6 Tegangan Maksimum 7](#_Toc440648664)

[2.1.7 Faktor Keamanan 8](#_Toc440648665)

[2.2 Batang Crane 8](#_Toc440648666)

[2.2.1 Batang Crane Dua Tumpuan 9](#_Toc440648667)

[2.2.2 Batang Crane Cantilever 9](#_Toc440648668)

[2.2.3 Batang Crane Dengan Tali Baja 10](#_Toc440648669)

[2.3 Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang Crane 10](#_Toc440648670)

[2.3.1 Deskripsi Sistem Informasi 10](#_Toc440648671)

[2.3.2 Tampilan Program 11](#_Toc440648672)

[III. METODOLOGI PENELITIAN 13](#_Toc440648673)

[3.1 Studi Pendahuluan 14](#_Toc440648674)

[3.1.1 Penelitian Yang Telah Ada 14](#_Toc440648675)

[3.1.2 Matrix Fitur Simulasi Pembebanan Yang Telah Ada 14](#_Toc440648676)

[3.2 Perumusan Masalah 15](#_Toc440648677)

[3.2.1 Pengaruh Massa Jenis 15](#_Toc440648678)

[3.2.2 Matrix Fitur Simulasi Pembebanan Setelah Ditambah Massa Jenis 15](#_Toc440648679)

[3.3 Analisis Tegangan dan Kekuatan Crane 16](#_Toc440648680)

[3.3.1 Batang Crane Dua Tumpuan 19](#_Toc440648681)

[3.3.2 Batang Crane Cantilever 23](#_Toc440648682)

[3.3.3 Batang Crane Dengan Tali Baja 27](#_Toc440648683)

[3.4 Pembuatan Software Analisis Tegangan dan Kekuatan Crane Berbasis Web 33](#_Toc440648684)

[3.4.1 Memilih Piranti Pembuatan *Software* 33](#_Toc440648685)

[3.4.2 Menentukan Input Dan Output 36](#_Toc440648686)

[3.4.3 Memasukan Persamaan Ke Dalam Model Pemrograman 38](#_Toc440648687)

[3.4.4 Pembuatan Software 42](#_Toc440648688)

[3.4.5 Pengujian Software 46](#_Toc440648689)

[3.5 Menghitung Pengaruh Massa Jenis Batang 46](#_Toc440648690)

[DAFTAR PUSTAKA **Error! Bookmark not defined.**](#_Toc440648691)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 3. 1 State of the art Analisis Tegangan Pada Material (2014) 14](#_Toc440648692)

[Tabel 3. 2 State of the art Analisis Tegangan Pada Material (2015) 15](#_Toc440648693)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2. 1 Titik berat massa benda 4](#_Toc440648694)

[Gambar 2. 2 Ilustrasi Hukum 1 Newton 5](#_Toc440648695)

[Gambar 2. 3 Ilustrasi tegangan aksial 6](#_Toc440648696)

[Gambar 2. 4 Ilustrasi Tegangan Geser 7](#_Toc440648697)

[Gambar 2. 5 Ilustrasi Batang Crane Dua Tumpuan 9](#_Toc440648698)

[Gambar 2. 6 Ilustrasi Batang Crane Cantilever 9](#_Toc440648699)

[Gambar 2. 7 Tampilan Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang *Crane* 11](#_Toc440648700)

[Gambar 2. 8 Tampilan Hasil Simulasi Program 12](#_Toc440648701)

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

( BAHAS Crane DULU BARU WEB. SEBUTIN PENELITIAN SEBELUMNYA )

*Crane* merupakan tipe mesin yang biasanya dilengkapi dengan tali yang berfungsi untuk mengangkat maupun memindahkan benda berat secara horizontal maupun vertikal. *Crane* biasa dipergunakan di industri maupun konstruksi sebagai alat utama pemindah benda berat dalam satu lokasi. Komponen utama sebuah *Crane* seperti pada *Overhead Crane*, *Mobile Crane, Gantry Crane* , adalah *beam* yang berfungsi sebagai lengan pemindah benda berat. Karena bentuk dan pembebanan yang diterimanya, *Crane* dapat menjadi salah satu model pembelajaran Mekanika Kekuatan Material yang lengkap.

Sistem Informasi Berbasis Web menjadi alternatif pilihan dalam pengembangan sistem informasi karena memiliki banyak kelebihan seperti, dapat di akses dari mana saja, dapat di akses kapan saja, dapat dibuka dari beragam sistem operasi dan beragam piranti, serta tidak memerlukan instalasi dapat langsung digunakan. Selain itu kebanyakan perangkat lunak pembuatannya merupakan perangkat lunak *open source* yang dapat diunduh dan digunakan secara gratis, sehingga cocok bagi kalangan akademik. Pemrograman Sistem Informasi Berbasis Web di lakukan di dalam sebuah *web server* di mana *web server* ini dapat diinstall *online* dalam sebuah komputer yang terhubung dengan internet, maupun *offline* di komputer yang tidak terhubung dengan internet.

Dalam penyelenggaraan pendidikan Teknik Mesin diperlukan sebuah bahan ajar tambahan yang mampu mensimulasikan masalah masalah dasar Teknik Mesin secara sederhana, interaktif, mudah digunakan, serta terbuka sehingga dapat diakses oleh peserta didik kapan saja, dari mana saja.

Salah satu cabang ilmu dasar dalam pendidikan Teknik Mesin adalah Mekanika Kekuatan Material dimana didalamnya peserta didik belajar tentang struktur material padat yang dikenai tegangan dan regangan. Mekanika Kekuatan Material menjadi salah satu ilmu dasar karena dipakai dalam berbagai cabang ilmu teknik mesin lainnya.

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian dan pembuatan TULIS PENELITI SEBELUMNYA Sistem Informasi Berbasis Web mengenai analisis pembebanan batang crane untuk beberapa kasus pembebanan dengan output nilai faktor keamanan, diagram nilai gaya dan tegangan, dan diagram benda bebas dari simulasi yang dipilih. Input yang diberikan pada simulasi tersebut adalah jenis simulasi, jenis penampang, jenis material, dimensi batang, lokasi pembebanan, dan berat beban.

Pada penelitian dan pembuatan sistem informasi tersebut, pengaruh massa jenis dari batang *crane* terhadap output pembebanan belum diperhitungkan. Untuk melanjutkan penelitian tersebut maka pada penelitian ini, variabel massa jenis ditambahkan ke dalam perhitungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang diteliti adalah bagaimana pengaruh massa jenis material *beam* pada *crane* terhadap output perhitungan yaitu diagram benda bebas, gaya normal, gaya geser, tegangan normal, tegangan geser serta faktor keamanan.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjalankan proses:

1. Merancang *aplikasi* analisis tegangan dan kekuatan *crane* berbasis web untuk mendapatkan grafik tegangan, faktor keamanan, serta pengaruh massa jenis batang terhadap tegangan yang terjadi pada beberapa kasus pembebanan *crane*,
2. Menguji kebenaran hasil perhitungan *aplikasi* analisis tegangan dan kekuatan *crane* dengan perhitungan manual.
3. Melakukan analisis pengaruh massa jenis batang *i-beam* terhadap Tegangan dan Kekuatan *crane*.
4. Membandingkan jenis kasus pembenanan terhadap faktor keamanan

## 1.4 Manfaat

Manfaat dari aplikasi ini bagi pengguna adalah :

1. Menghitung Gaya, Momen Lentur, dan Tegangan di setiap lokasi batang crane sesuai variasi input yang dimasukan.
2. Melihat diagram Gaya, Momen Lentur, dan Tegangan dari batang crane sesuai variasi input yang dimasukan.
3. Menghitung Faktor Keamanan.
4. Melihat perbedaan pengaruh massa jenis terhadap hasil perhitungan.
5. Menentukan bentuk mekanisme batang yang paling efektif untuk kasus pembebanan dengan input tertentu.
6. Media pembelajaran mekanika bagi mahasiswa teknik mesin.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Batang *crane* yang ditinjau merupakan batang *I-Beam* yang memiliki penampang dan material tertentu.
2. Massa jenis *I-Beam* dianggap tersebar merata.
3. Penampang batang *I-Beam* dianggap simetris dimana titik pusat massa ada di bagian tengah penampang.
4. Jumlah beban dalam simulasi dibatasi hanya satu beban.
5. Jenis pembebanan dalam simulasi dibatas tiga jenis pembebanan.
6. Pengaruh massa tali baja diabaikan.
7. Momen puntir dianggap tidak ada.
8. Tegangan normal sumbu y dianggap tidak ada.
9. Faktor Keamanan dihitung dari Tegangan Principal Maksimum Tarik
10. Lokasi perhitungan Tegangan Principal Maksimum Tarik dibatasi hanya di dua lokasi yaitu di tengah penampang dan di ujung penampang.

# 2. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Teori Dasar Mekanika JANGAN BANYAK KOSONG, layout

### 2.1.1 Pusat Massa

 Pusat massa adalah titik tangkap dari resultan gaya-gaya berat pada setiap komponen dimana jumlah momen gaya terhadap titik(pusat massa) sama dengan nol. Titik pusat massa dilalui oleh garis kerja resultan gaya berat sistem dan merupakan garis potong dari garis kerja gaya berat bila sistem ini berubah-ubah posisinya. ( GAMBAR GANTI YANG LEBIH JELAS )

Gambar 2. 1 Titik berat massa benda

(BBC.co.uk, 2014)

### 2.1.2 Gaya

Gaya adalah interaksi apapun yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami perubahan gerak, baik dalam bentuk arah, maupun konstruksi geometris. Gaya dapat menyebabkan sebuah objek dengan massa tertentu untuk mengubah kecepatannya atau berakselerasi, atau untuk terdeformasi. Gaya adalah besaran vektor yang memiliki besarandan arah. Satuan internasional yang digunakan untuk mengukur gaya adalah Newton (N).

Gambar 2. 2 Ilustrasi Hukum 1 Newton

(Shipway, 2008) ditulis setelah keterangan gambar

F = m . a (2.1)

F = gaya (N)

m = massa (kg)

a = percepatan (m/s2)

### 2.1.3 Momen LenturBIKIN ILUSTRASINYA

Momen lentur disebabkan oleh adanya gaya radial dan adanya lengan beban. Gaya radial yang bekerja tegak lurus sumbu poros membuat terjadinya momen lentur pada poros. Sebuah batang yang mengalami beban momen lentur akan berdeformasi dengan modus tertekuk. Besarnya momen lentur berbanding lurus dengan besarnya gaya dan panjang lengan beban. Momen lentur dirumuskan seperti pada persamaan berikut.

M = F x l (2.2)

M = momen lentur (Nm)

F = gaya (N)

l = lengan beban (m)

### 2.1.4 Tegangan Normal

Tegangan normal adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya tarik atau tekan. Tegangan normal terjadi pada permukaan yang tegak lurus dengan arah gaya tarik / tekan. Besarnya tegangan normal berbanding lurus dengan besarnya gaya tarik / tekan dan berbanding terbalik dengan luas permukaan yang terkena beban.

Gambar 2. 3 Ilustrasi tegangan aksial

(Sanpaz, 2009)

σ = F / A (2.3)

σ = tegangan normal (Pa)

F = gaya tarik / tekan (N)

A = luas permukaan (m2) (SATUAN PERHATIIN LAGI ADA YG SALAH2)

### 2.1.5 Tegangan Geser

 Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya geser. Tegangan geser terjadi pada permukaan yang sejajar dengan arah gaya geser. Besarnya tegangan geser berbanding lurus dengan besarnya gaya geser dan berbanding terbalik dengan luas permukaan yang terkena beban.

Gambar 2. Ilustrasi Tegangan Geser

(semesters.in, 2015)

τ = F / A (2.4)

τ = tegangan geser (Pa)

F = gaya geser (N)

A = luas permukaan (m2)

### 2.1.6 Tegangan Principal JELASKAN LINGKARAN MOHR , R , Rumus , dll

Tegangan maksimum pada sebuah mekanisme yang dikenai beban adalah salahsatu parameter yang dibutuhkan untuk meninjau faktor keamanan mekanisme tersebut. Tegangan maksimum pada sebuah mekanisme dapat terjadi akibat gaya-gaya dalam pada mekanisme tersebut. Besarnya tegangan maksimum (σmax) dapat dihitung dengan lingkaran Mohr.

σavg = (2.5)

σmax = σavg + R (2.6)

### 2.1.7 Faktor Keamananjelaskan grafik tegangan posisi tegangan yield

Faktor kemanan adalah sebuah parameter penting dalam pengoperasian suatu mekanisme. Semakin tinggi nilai faktor keamanan maka peluang sebuah mekanisme untuk gagal akibat beban yang berlebih menjadi lebih kecil. Nilai faktor keamanan yang terlalu tinggi dapat menunjukkan telah terjadinya *overdesign* pada sebuah mekanisme. Nilai faktor keamanan yang rendah menunjukkan bahwa beban harus dikurangi atau mekanisme harus didesain ulang. Faktor keamanan dirumuskan sebagai perbandingan antara tegangan yield material (σy) dibandingkan dengan tegangan maksimum yang terjadi (σmax).

Faktor keamanan = σy / σmax (2.7)

## 2.2 Batang Crane

Yang dimaksud batang *crane* di dalam penelitian ini adalah *I-Beam* berbahan baja yang digunakan di banyak jenis *crane* seperti *Gantry Crane* dan *Bridge Crane* yang berfungsi sebagai lengan tempat katrol pengangkat beban berada. Dalam penelitian ini ada 3 jenis pembebanan batang crane yaitu Batang *Crane* Dua Tumpuan, Batang Crane Cantilever, dan Batang *Crane* Dengan Tali Baja. Cantilever : Batang Crane Bertumpuan Jepit

### 2.2.1 Beban Terdistribusi Pada Batang Crane

### 2.2.1 Batang Crane Dua Tumpuan

JELASIN KENAPA JADI BEBAN TERDISTRIBUSI, JELASIN TERDISTRIBUSINYA DARI MANA, JELASIN LAGI DI PENURUNAN RUMUS. Di penurunan rumus jelasin gambar awalnya



Gambar 2. Ilustrasi Batang Crane Dua Tumpuan

(Gumilar & Al-Amin, Simulasi Pembebanan Crane, 2014)

Merupakan *I-Beam* yang ditumpu oleh dua jenis tumpuan. Satu merupakan tumpuan roll, satu lagi tumpuan engsel. Panjang *beam* dinyatakan dengan L , posisi beban disepanjang *beam* dinyatakan dengan x , dan massa beban dinyatakan dengan m. Batang *crane* dengan konstruksi seperti ini biasa digunakan pada *Bridge Crane.*

### 2.2.2 Batang Crane Cantilever



Gambar 2. Ilustrasi Batang Crane Cantilever

(Gumilar & Al-Amin, Simulasi Pembebanan Crane, 2014)

Merupakan *I-Beam* cantilever dijepit pada salah satu bagiannya. Panjang *beam* dinyatakan dengan L , posisi beban disepanjang *beam* dinyatakan dengan x , dan massa beban dinyatakan dengan m. Batang *crane* dengan konstruksi seperti ini biasa digunakan pada *Gantry Crane* dan *crane* perawatan gedung tinggi*.*

### 2.2.3 Batang Crane Dengan Tali Baja

## 2.3 Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang Crane

Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang *Crane* sebagai hasil penelitian Aji Gumilar dkk. pada tahun 2014, merupakan sistem informasi berbasis web untuk menghitung pembebanan yang terjadi pada batang *crane* untuk beberapa tipe pembebanan.

### 2.3.1 Deskripsi Sistem Informasi

POWERPOINT BISA JADI 2 HALAMAN UNTUK YANG BANYAK

MENDING BANYAK JELASIN PENELITIAN SEBELUMNYA. SIMULASIIN

Sistem informasi ini dijalankan melalui web browser dengan alamat <http://crane.insanblog.com>. Pengguna memasukan input berupa jenis simulasi, jenis penampang, jenis material, dimensi batang, lokasi pembebanan, dan berat beban. Kemudian sistem akan memberikan hasil perhitungan berupa nilai faktor keamanan, diagram nilai gaya dan tegangan, dan diagram benda bebas.

### 2.3.2 Tampilan Program



Gambar 2. Tampilan Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang *Crane*

(Gumilar & Al-Amin, Simulasi Pembebanan Crane, 2014)

Tampilan awal program dimana pengguna memasukan input berupa Jenis Simulasi, Jenis Penampang, Jenis Material, Panjang *beam* ( L ) , Posisi Beban ( x ) , dan Massa Beban ( m ).



Gambar 2. Tampilan Hasil Simulasi Program

(Gumilar & Al-Amin, Simulasi Pembebanan Crane, 2014)

Tampilan simulasi setelah dilakukan perhitungan. Akan didapatkan output Nilai Faktor Keamanan, Tegangan Maksimal Keseluruhan, Diagram Benda Bebas ( DBB ), grafik per titik nodal dari Gaya Normal, Momen Lentur, Tegangan Normal akibat Momen Lentur, Tegangan Normal akibat Gaya Normal, Total Tegangan Normal Sumbu x, Total Tegangan Sumbu y, Tegangan Geser, dan Tegangan Maksimal.

# III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini meliputi enam kegiatan utama yaitu :

1. Studi Pendahuluan , 2. Perumusan Masalah , 3. Analisis Tegangan dan Kekuatan *crane* , 4. Pembuatan *software* analisis tegangan dan kekuatan *crane* berbasis web , 5. Pengaruh massa jenis batang terhadap tegangan pada *crane* , 6. Hasil penelitian dalam bentuk laporan tugas akhir dan software. Alur penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1

Studi Pendahuluan

* Penelitian yang telah ada
* Matrix fitur simulasi pembebanan yang telah ada
* Kajian pustaka

Perumusan Masalah

* Pengaruh massa jenis
* Matrix fitur simulasi pembebanan setelah ditambah massa jenis

Penurunan Rumus

* Diagram Benda Bebas
* Membuat persamaan gaya, momen, tegangan, dan faktor keamanan

Pembuatan *software* analisis tegangan dan kekuatan *crane* berbasis web

* Memilih piranti pembuatan *software*
* Menentukan input dan output
* Memasukan persamaan ke model pemrograman
* Pembuatan *software*
* Pengujian *software*

Pengaruh massa jenis batang terhadap tegangan pada *crane*

* Laporan Tugas Akhir
* *Software* Analisis

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.1 Studi Pendahuluan

### 3.1.1 Penelitian Yang Telah Ada

Penelitian terbaru yang telah ada sebelumnya merupakan penelitian Profil I Simulasi Berbasis Web dari Aji Gumilar, dkk., 2014 dimana didalamnya terdapat fitur pencarian Gaya Geser, Momen Lentur, Tegangan dan Faktor Keamanan. Variabel yang divariasikan dalam penelitian tersebut adalah beban, jarak beban, panjang batang dan jenis tumpuan.

### Matrix Fitur Simulasi Pembebanan Yang Telah Ada

Tabel 3. State of the art Analisis Tegangan Pada Material (2014)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Peneliti** | **Fungsi yang Dicari** | | | | | | | **Variabel yang divariasikan** | | | | | **Keterangan** |
| Gaya Geser | Momen Lentur | Tegangan | Defleksi | Beban Kritis | Faktor Keamanan | Frekuensi Pribadi | Beban | Jarak Beban | Panjang Batang | Jenis Tumpuan | Massa Jenis |
| Mustafa, dkk.,  2013 |  |  |  | V |  |  |  | V | V | V |  |  | Profil U |
| Sutresman, dkk., 2013 |  |  |  | V |  |  |  | V | V | V |  |  | Profil Kotak |
| Malta, dkk.,  2013 |  |  |  |  |  |  | V | V | V | V |  |  | Profil Bulat Simulasi |
| Satria, E., dkk. 2013 |  |  |  |  | V |  |  | V | V | V |  |  | Profil Bulat |
| Aji Gumilar, dkk., 2013 | V | V | V |  |  |  |  | V | V | V | V |  | Profil I Simulasi |
| A Beam Lite,  2014 | V | V |  |  |  |  |  | V | V | V | V |  | Simulasi Berbasis Web |
| Aji Gumilar, dkk.,  2014 | V | V | V |  |  | V |  | V | V | V | V |  | Profil I Simulasi Berbasis Web |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

(Gumilar, Puspawardhani, & Al-Amin, Analisis Tegangan dan Kekuatan Beam pada Crane Berbasis Web, 2014)

## 3.2 Perumusan Masalah

### 3.2.1 Pengaruh Massa Jenis

Pada penelitian sebelumnya, belum dimasukan pengaruh Massa Jenis terhadap output perhitungan sedangkan dalam keadaan sebenarnya beam yang diuji pasti memiliki massa terdistribusi di dalamnya.

Pada penelitian ini akan diteliti seberapa besar pengaruh Massa Jenis terhadap output perhitungan dengan cara membandingkan harga sebelum dan sesudah memasukan faktor pengaruh Massa Jenis terhadap perhitungan yang telah ada.

### 3.2.2 Matrix Fitur Simulasi Pembebanan Setelah Ditambah Massa Jenis

Tabel 3. State of the art Analisis Tegangan Pada Material (2015)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Peneliti** | **Fungsi yang Dicari** | | | | | | | **Variabel yang divariasikan** | | | | | **Keterangan** |
| Gaya Geser | Momen Lentur | Tegangan | Defleksi | Beban Kritis | Faktor Keamanan | Frekuensi Pribadi | Beban | Jarak Beban | Panjang Batang | Jenis Tumpuan | Massa Jenis |
| Mustafa, dkk.,  2013 |  |  |  | V |  |  |  | V | V | V |  |  | Profil U |
| Sutresman, dkk., 2013 |  |  |  | V |  |  |  | V | V | V |  |  | Profil Kotak |
| Malta, dkk.,  2013 |  |  |  |  |  |  | V | V | V | V |  |  | Profil Bulat Simulasi |
| Satria, E., dkk. 2013 |  |  |  |  | V |  |  | V | V | V |  |  | Profil Bulat |
| Aji Gumilar, dkk., 2013 | V | V | V |  |  |  |  | V | V | V | V |  | Profil I Simulasi |
| A Beam Lite,  2014 | V | V |  |  |  |  |  | V | V | V | V |  | Simulasi Berbasis Web |
| Aji Gumilar, dkk.,  2014 | V | V | V |  |  | V |  | V | V | V | V |  | Profil I Simulasi Berbasis Web |
| **Aji Gumilar, Insan Al-Amin, dkk.,**  **2015** | **V** | **V** | **V** |  |  | **V** |  | **V** | **V** | **V** | **V** | **V** | **Profil I Simulasi Berbasis Web** |

(Gumilar, Puspawardhani, & Al-Amin, Analisis Tegangan dan Kekuatan Beam pada Crane Berbasis Web, 2014)

## 3.3 Penurunan Rumus

[ analisis tegangan dan kekuatan crane ]

Dalam penelitian ini, pengaruh massa jenis *beam* ditambahkan ke dalam perhitungan yang telah ada sebelumnya. Merujuk kepada data *I-beam* yang tersedia, maka digunakan massa per satuan panjang ( kg/m ) sebagai perbandingan linier dari massa jenis.

Pengaruh massa per satuan panjang ditambahkan ke dalam diagram benda bebas dari masing masing jenis simulasi pembebanan agar dapat dilakukan pembahruan rumus perhitungan sebelumnya ( tanpa memperhitungkan massa per satuan panjang ).

LEBIH DETAIL LAGI PENJELASAN AWAL NYA, BIKIN ORANG NGERTI. GAMBARIN APA ENGSEL, ROL, GIMANA AJA . ASUMSI ARAH GAMBARKAN. X dan xi JELASIN DI GAMBAR. HARUS SUPER JELAS

### 3.3.1 Simbol dan Penamaan

Simbol dan Penamaan yang digunakan dalam perhitungan aplikasi :

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kategori** | **Simbol** | **Arti** | **Satuan** | **Simulasi Batang Crane** | | |
| **Dua Tumpuan** | **Cantilever** | **Tali Baja** |
| Input | L | Panjang batang | m | v | v | v |
| Input | x | Lokasi Massa Beban | m | v | v | v |
| Input | m | Massa Beban | kg | v | v | v |
| Input | Ltx | Panjang Tali Baja Sumbu x | m |  |  | v |
| Input | Lty | Panjang Tali Baja Sumbu y | m |  |  | v |
| Input | g | Percepatan Gravitasi | m/s2 | v | v | v |
| Input | n | Pembagi Titik Nodal |  | v | v | v |
| Referensi | σy | Tegangan Yield | N/mm2 | v | v | v |
| Referensi | W0 | Massa Per Satuan Panjang | kg/m | v | v | v |
| Referensi | h | Tinggi Penampang Batang | mm | v | v | v |
| Referensi | b | Lebar Penampang Batang | mm | v | v | v |
| Referensi | tweb | (Lihat Gambar xx) | mm | v | v | v |
| Referensi | tflange | (Lihat Gambar xx) | mm | v | v | v |
| Referensi | Asection | Luas Penampang | cm2 | v | v | v |
| Referensi | Ix | Momen Inersia Penampang | cm4 | v | v | v |
| Referensi | c | Jarak Dari Tengah Penampang | mm | v | v | v |
| Referensi | y | Jarak Maksimum Dari Tengah Penampang | mm | v | v | v |
| Output | F | Gaya Akibat Massa Beban | N | v | v | v |
| Output | R | Resultan Gaya Akibat Massa Per Satuan Panjang | N | v | v | v |
| Output | q | Momen Luas Pertama | Mm3 | v | v | v |
| Output | Ax | Gaya Reaksi Sumbu x di Titik A | N | v | v | v |
| Output | Ay | Gaya Reaksi Sumbu y di Titik A | N | v | v | v |
| Output | By | Gaya Reaksi Sumbu y di Titik B | N | v |  |  |
| Output | Tx | Gaya Reaksi Sumbu x Tegangan Tali | N |  |  | v |
| Output | Ty | Gaya Reaksi Sumbu y Tegangan Tali | N |  |  | v |
| Output | MA | Momen Reaksi di Titik A | Nm |  | v |  |
| Output | i | Posisi di setiap titik nodal | m | v | v | v |
| Output | F(i) | Fungsi Gaya Akibat Massa Beban terhadap i | N | v | v | v |
| Output | R(i) | Fungsi Resultan Gaya Akibat Massa Per Satuan Panjang terhadap i | N | v | v | v |
| Output | Tx(i) | Fungsi Gaya Reaksi Sumbu x Tegangan Tali terhadap i | N |  |  | v |
| Output | Ty(i) | Fungsi Gaya Reaksi Sumbu y Tegangan Tali terhadap i | N |  |  | v |
| Output | V(i) | Fungsi Gaya Geser Dalam terhadap i | N | v | v | v |
| Output | N(i) | Fungsi Gaya Normal Dalam terhadap i | N | v | v | v |
| Output | M(i) | Fungsi Momen Lentur Dalam terhadap i | Nm | v | v | v |
| Output | σ(i) |  | Pa | v | v | v |
| Output | σM(i) |  | Pa | v | v | v |
| Output | τ(i) |  | Pa | v | v | v |
| Output | σmax (c=y)(i) | Fungsi Tegangan Principal Tarik Maksimum terhadap i , posisi di ujung penampang | Pa | v | v | v |
| Output | σmax (c=0)(i) | Fungsi Tegangan Principal Tarik Maksimum terhadap i , posisi di tengah penampang | Pa | v | v | v |
| Output | σmax all | Tegangan Principal Tarik Maksimum tertingi yang terjadi diantara semua titik nodal | Pa | v | v | v |
| Output | Sf | Faktor Keamanan |  | v | v | v |

Penjelasan Kategori Simbol dan Penamaan :

|  |  |
| --- | --- |
| Input | dimasukan oleh pengguna ketika memulai perhitungan dengan aplikasi. |
| Referensi | data batang yang diambil dari literatur, sesuai yang pengguna |
| Output | variabel yang nilainya didapat setelah dilakukan perhitungan. |

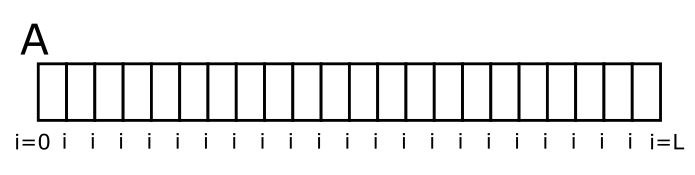
input : data batang : data batang yang diambil dari literatur, sesuai yang pengguna pilih.

output : variabel yang nilainya didapat setelah dilakukan perhitungan.

<gambar penampang>a

### 3.3.2 Perhitungan Iteratif Berbasis Titik Nodal

Batang Crane dibagi menjadi sejumlah n titik nodal dimana pada setiap titik nodal akan dilakukan perhitungan gaya, momen lentur, dan tegangan. i mewakili posisi dari tiap titik nodal terhadap titik awal batang. Titik-titik nodal ini dimulai dari i = 0 ( Titik awal batang ) , hingga i = L ( Titik akhir batang ).



Tujuan pembagian titik nodal adalah untuk mendapatkan representasi diagram gaya, momen lentur, dan tegangan yang akurat. Semakin banyak n , maka akan semakin akurat hasil perhitungan.

Perhitungan akan dilakukan secara iteratif , dimulai dari i = 0, i = 0.001 , i = 0.002 , … , hingga i = L.

Beberapa rumus dalam perhitungan menggunakan fungsi matematika dimana nilai fungsi berubah terhadap jarak, f(i).

### 3.3.3 Massa Jenis Dihitung dan Massa Jenis Diabaikan

Pada setiap simulasi dilakukan dua kali perhitungan, yaitu perhitungan dengan massa jenis dihitung, dan perhitungan dengan massa jenis diabaikan. Massa jenis yang digunakan di dalam perhitungan merupakan massa per satuan panjang W0 yang bersatuan kg/m.

### 3.3.3 Batang Crane Dua Tumpuan

Merupakan batang crane yang ditumpu oleh dua jenis tumpuan yaitu tumpuan engsel dan tumpuan rol.

1. Diagram Benda Bebas :



Gambar 3. DBB Batang Crane Dua Tumpuan

1. Gaya Normal Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Nx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  ∑Fx = 0 N  Ax = 0 N  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| xi < x dan xi >= x : (kondisi 3.1)  Nx + Ax = 0 N  **Nx = 0 N** (3.1) |

1. Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Vx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  L = panjang batang  Wo = massa per satuan panjang  R = Wo \* L \* G  ∑Fy = 0 N  Ay + By – R – F = 0  ∑MA = 0 Nm  R \* 0,5L + F \* x – By \* L = 0  By = (3.2)  Ay = R + F - By = R + F - (3.3) |
| xi < x : (kondisi 3.2)  - Vx + Ay - W0 \* xi = 0 N  **Vx = Ay - W0 \* xi** \* G (3.4) |
| xi >= x : (kondisi 3.3)  - Vx + Ay - W0 \* xi - F = 0 N  **Vx = Ay - W0 \* xi** \* G **– F** (3.5) |

1. Momen Lentur Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Mx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| xi < x : (kondisi 3.4)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi** \* G **\* 0,5xi )** (3.6) |
| xi >= x : (kondisi 3.5)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) - F \* ( xi - x ) = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi** \* G **\* 0,5xi ) - F \* ( xi - x )** (3.7) |

1. Tegangan Normal Sumbu x Akibat Nx dan Mx di Tiap Posisi sumbu x (σxi):

|  |
| --- |
| Nx = Gaya Normal Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Mx = Momen Lentur Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Ap = Luas Penampang Batang Crane  hp = Tinggi Batang Crane ( mm )  Ix = Momen Inersia x Batang Crane (cm4) |
| **σxi = +**  (3.8) |

1. Tegangan Normal Sumbu y ( σyi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| Vx = Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x  t1 = Tebal Bagian Tengah Batang Crane ( mm )  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| **σyi =**  (3.8) |

1. Tegangan Geser ( τi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| Vx = Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Ap = Luas Penampang Batang Crane (cm2) |
| **τi  =**        (3.9) |

1. Tegangan Maksimal ( σmaxi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| σavgi = Tegangan Normal Rata Rata di Tiap Posisi sumbu x  Rmohr = Jari Jari Lingkaran Mohr |
| **σ**avgi =  Rmohr = |
| **σmaxi  = σavgi + Rmohr**  **= +**  (3.10) |

1. Faktor Keamanan ( S ) :

|  |
| --- |
| **σ**y = Tegangan Yield dari Material |
| **S =**  (3.11) |

### 3.3.4 Batang Crane Cantilever

Merupakan batang crane yang ditumpu oleh dua jenis tumpuan yaitu tumpuan engsel dan tumpuan rol.

1. Diagram Benda Bebas :



Gambar 3. DBB Batang Crane Cantilever

1. Gaya Normal Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Nx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  ∑Fx = 0 N  Ax = 0 N  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| xi < x dan xi >= x : (kondisi 3.6)  Nx + Ax = 0 N  **Nx = 0 N** (3.12) |

1. Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Vx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  L = panjang batang  Wo = massa per satuan panjang  R = Wo \* L  ∑Fy = 0 N  Ay – R – F = 0  Ay = R + F (3.13)  ∑MA = 0 Nm  R \* 0,5L + F \* x + MA = 0  MA = - 1 \* ( R \* 0,5L + F \* x ) (3.14) |
| xi < x : (kondisi 3.7)  - Vx + Ay - W0 \* xi = 0 N  **Vx = Ay - W0 \* xi** (3.15) |
| xi >= x : (kondisi 3.8)  - Vx + Ay - W0 \* xi - F = 0 N  **Vx = Ay - W0 \* xi – F** (3.16) |

1. Momen Lentur Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Mx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| xi < x : (kondisi 3.9)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) + MA = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) + MA** (3.17) |
| xi >= x : (kondisi 3.10)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) - F \* ( xi - x ) + MA = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) - F \* ( xi - x ) + MA** (3.18) |

1. Tegangan Normal Sumbu x Akibat Nx dan Mx di Tiap Posisi sumbu x ( σxi ) :

|  |
| --- |
| Nx = Gaya Normal Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Mx = Momen Lentur Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Ap = Luas Penampang Batang Crane  hp = Tinggi Batang Crane ( mm )  Ix = Momen Inersia x Batang Crane (cm4) |
| **σxi = +**  (3.19) |

1. Tegangan Normal Sumbu y ( σyi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| Vx = Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x  t1 = Tebal Bagian Tengah Batang Crane ( mm )  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| **σyi =**  (3.20) |

1. Tegangan Geser ( τi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| Vx = Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Ap = Luas Penampang Batang Crane (cm2) |
| **τi  =**  (3.21) |

1. Tegangan Maksimal ( σmaxi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| σavgi = Tegangan Normal Rata Rata di Tiap Posisi sumbu x  Rmohr = Jari Jari Lingkaran Mohr |
| **σ**avgi =  Rmohr = |
| **σmaxi  = σavgi + Rmohr**  **= +**  (3.22) |

1. Faktor Keamanan ( S ) :

|  |
| --- |
| **σ**y = Tegangan Yield dari Material |
| **S =**  (3.23) |

### 3.3.5 Batang Crane Dengan Tali Baja

Merupakan batang crane yang ditumpu oleh dua jenis tumpuan yaitu tumpuan engsel dan tumpuan rol.

1. Diagram Benda Bebas :



Gambar 3. DBB Batang Crane Dengan Tali Baja

1. Gaya Normal Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Nx ) :

Ax

Ay

Mx

Nx

xi

Gambar 3. arah gaya dalam untuk posisi tertentu xi

|  |
| --- |
| x = Posisi F  ∑Fx = 0 N  tx = Tegangan Tali arah sumbu x  ty = Tegangan Tali arah sumbu y  Ltx = Panjang Tali Baja sumbu x  Lty = Panjang Tali Baja sumbu y  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x  txi = Besar tx di posisi xi  Ax = tx  Ay – R – ty – F = 0  Ay = R + ty + F (3.24)  ∑MA = 0  R\*(0.5 L) + F\*x + ty \* Lty = 0  ty = (3.25)    tx  = \* ty (3.26)  Ax = \* ty (3.27) |
| xi < Ltx : (kondisi 3.11)  Nx + Ax - txi = 0 N  txi = 0  **Nx = \* ty** (3.28)  xi >= Ltx : (kondisi 3.12)  Nx + Ax - txi = 0 N  txi = tx  Nx = -Ax + tx  **Nx = 0 N** (3.29) |

1. Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Vx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  L = panjang batang  tx = Tegangan Tali arah sumbu x  ty = Tegangan Tali arah sumbu y  Ltx = Panjang Tali Baja sumbu x  Lty = Panjang Tali Baja sumbu y  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x  tyi = Besar ty di posisi xi  Wo = massa per satuan panjang  R = Wo \* L  ∑Fy = 0 N  Ay – R – ty – F = 0  Ay = R + ty + F (3.30)  Ay = R + F (3.31) |
| xi < x : (kondisi 3.13)  xi < Ltx : (kondisi 3.14)  - Vx + Ay - W0 \* xi – tyi = 0 N  tyi = 0 N  **Vx**  **= Ay - W0 \* xi** (3.32)  xi >= Ltx : (kondisi 3.15)  - Vx + Ay - W0 \* xi – tyi = 0 N  tyi = ty  **Vx**  **= Ay - W0 \* xi - tyi** (3.33) |
| xi >= x : (kondisi 3.16)  xi < Ltx : (kondisi 3.17)  - Vx + Ay - W0 \* xi – tyi­ - F = 0 N  tyi = 0 N  **Vx**  **= Ay - W0 \* xi - F** (3.34)  xi >= Ltx : (kondisi 3.18)  - Vx + Ay - W0 \* xi – tyi­ - F = 0 N  tyi = ty  **Vx**  **= Ay - W0 \* xi - ty - F** (3.35) |

1. Momen Lentur Dalam di Tiap Posisi sumbu x ( Mx ) :

|  |
| --- |
| x = Posisi F  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| xi < x : (kondisi 3.19)  xi < Ltx : (kondisi 3.20)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi )**  (3.36)  xi >= Ltx : (kondisi 3.21)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) – ty \* ( xi - Lty ) = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) – ty \* ( xi - Lty )** |
| xi >= x : (kondisi 3.22)  xi < Ltx : (kondisi 3.23)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) - F \* ( xi - x ) = 0  **Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) – F \* ( xi - x )** (3.37)  xi >= Ltx : (kondisi 3.24)  ∑Mxi = 0  -Mx + ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) – ty \* ( xi - Lty ) - F \* ( xi - x ) = 0  **Mx= ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) – F \* ( xi - x ) – ty \* ( xi - Lty )**  (3.38) |

1. Tegangan Normal Sumbu x Akibat Nx dan Mx di Tiap Posisi sumbu x (σxi):

|  |
| --- |
| Nx = Gaya Normal Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Mx = Momen Lentur Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Ap = Luas Penampang Batang Crane (cm2)  hp = Tinggi Batang Crane ( mm )  Ix = Momen Inersia x Batang Crane (cm4) |
| **σxi = +**  (3.38) |

1. Tegangan Normal Sumbu y ( σyi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| Vx = Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x  t1 = Tebal Bagian Tengah Batang Crane ( mm )  xi = Posisi di tiap posisi sumbu x |
| **σyi =**  (3.39) |

1. Tegangan Geser ( τi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| Vx = Gaya Geser Dalam di Tiap Posisi sumbu x  Ap = Luas Penampang Batang Crane |
| **τi  =**  (3.40) |

1. Tegangan Maksimal ( σmaxi ) di Tiap Posisi sumbu x :

|  |
| --- |
| σavgi = Tegangan Normal Rata Rata di Tiap Posisi sumbu x  Rmohr = Jari Jari Lingkaran Mohr |
| **σ**avgi =  Rmohr = |
| **σmaxi  = σavgi + Rmohr**  **= +**  (3.41) |

1. Faktor Keamanan ( S ) :

|  |
| --- |
| **σ**y = Tegangan Yield dari Material |
| **S =**  (3.42) |

### 3.3.6 Perhitungan Tegangan

Tegangan yang dihitung pada proses perhitungan adalah :

Untuk setiap perhitungan iteratif titik nodal, Tegangan Principal Maksimum Tarik dihitung di lokasi ujung ( c = y ) dan tengah ( c = 0 ) penampang.

### 3.3.7 Perhitungan Faktor Keamanan

## 3.4 Pembuatan Aplikasi

### 3.4.1 Menentukan Input dan Output Perhitungan Dari Aplikasi

### 3.4.2 Menentukan Layout Tampilan Aplikasi

### 3.4.3 Memilih Piranti Pembuatan *Software*

**Piranti Keras Dan Sistem Operasi**

Software Simulasi ini akan dibuat online berbasis web untuk dapat dibuka dengan menggunakan web browser. Keuntungan membuat software simulasi berbasis web online diantaranya :

* Dapat di akses dari mana saja. Sehingga mudah untuk melakukan koreksi dan pengujian oleh berbagai pihak dari berbagai tempat.
* Dapat di akses kapan saja. Karena software simulasi tersimpan di server yang online selama 24 jam, maka pihak penguji bisa menguji software kapan saja.
* Web dapat di akses dari berbagai piranti seperti PC, laptop, tablet maupun smartphone dengan menggunakan web browser seperti Modzilla Firefox, Google Chrome atau TOR.
* Tidak memerlukan instalasi, langsung dapat digunakan. Karena berbasis web online, maka pengguna simulasi terutama pihak penguji bisa langsung mencoba simulasi dengan membuka alamat url nya.
* Satu penulisan pemrograman untuk berbagai piranti. Karena berbasis web, maka untuk beragam sistem operasi maupun piranti bahasa pemrograman yang digunakan sama.
* Server dapat di install offline untuk PC dan laptop yang tidak memiliki koneksi internet.

**Server**

Software simulasi berbasis web disimpan dalam sebuah web server yang terkoneksi dengan sambungan internet. Web server sendiri merupakan teknologi yang memungkinkan peminta data ( client ) meminta data tertentu kepada web server, untuk kemudian web server menyuguhkan data yang client minta. Ada beberapa jenis web server mulai dari yang berbayar seperti IIS dari Microsoft, maupun yang tidak berbayar / gratis seperti Apache, Nginx, Jetty, dan Nodejs.

Alasan penggunaan Jetty sebagai web server untuk software simulasi ini adalah :

* Gratis. Jetty menggunakan lisensi open source yang dapat digunakan gratis.
* Dapat digunakan di beragam sistem operasi seperti Linux, Windows dan MacOS
* Waktu *load* yang cepat
* Menggunakan sedikit sekali memori sehingga menghemat penggunaan memori komputer server.
* Berukuran kecil sehingga mudah dipaketkan bersama aplikasi
* Memiliki sumber pembelajaran terbanyak di internet sehingga lebih mudah dalam mempelajarinya.

**Bahasa Pemrograman**

Pada pembuatan software simulasi ini, bahasa pemrograman dipakai untuk mengolah data input menjadi output dengan cara memasukan alur perhitungan dan rumus rumus mekanika yang telah diturunkan ke dalam bahasa pemrograman tersebut.

Bahasa pemrograman yang digunakan untuk pembuatan software simulasi adalah Java. Java merupakan bahasa pemrograman berorientasi objek yang banyak digunakan di berbagai bidang seperti aplikasi desktop, aplikasi android, web, hingga microcontroller.

Alasan penggunaan Java sebagai bahasa pemrograman untuk software simulasi ini adalah :

* Gratis. Java menggunakan lisensi open source sehingga dapat diunduh dan digunakan gratis.
* Model perhitungan simulasi dapat digunakan di beragam platform baik *desktop*, *mobile*, maupun *web*.
* Portabel, dapat dijalankan di beragam sistem informasi seperti Windows, Linux, maupun MacOS
* Memiliki pengevaluasi error yang baik sehingga memudahkan dalam pencarian kesalahan pemrograman.
* Memiliki *plugin* yang banyak untuk menyelesaikan berbagai persoalan termasuk persoalan-persoalan terkait keteknikan.

**Database**

Pada pembuatan software simulasi ini, database digunakan sebagai wadah untuk penyimpanan nilai untuk data penampang dan material, yang dapat diakses oleh bahasa pemrograman.

Database yang digunakan untuk pembuatan software simulasi adalah MySQL. MySQL. Database lain selain MySQL diantaranya PostgreSQL, SQLite, dan MongoDB.

Alasan penggunaan MySQL sebagai database untuk software simulasi ini adalah :

* Gratis. MySQL menggunakan lisensi open source sehingga dapat diunduh dan digunakan gratis.
* Dapat digunakan di beragam sistem informasi seperti Linux, Windows dan MacOS
* Terintegrasi dengan baik dengan PHP.
* Merupakan bahasa scripting web server yang paling banyak digunakan untuk membuat web yang telah ada semenjak tahun 1995.
* Mendukung Pemrograman Orientasi Object ( Object Oriented Programming )
* Memiliki banyak fitur berupa ekstensi PHP yang dapat diinstall sesuai kebutuhan
* Memiliki sumber pembelajaran terbanyak di internet sehingga lebih mudah dalam mempelajarinya.

**Tampilan**

Pada pembuatan software simulasi ini, bahasa client digunakan sebagai perangkat untuk membuat tampilan dan konten untuk ditampilkan bagi pengguna software aplikasi ( client ) melalui web browser. Tampilan di sini termasuk di dalamnya isi, bentuk tampilan software simulasi, warna, tulisan, form input output, dan plot grafik.

Bahasa client merupakan standar bahasa yang digunakan oleh web browser seperti Modzilla Firefox, Google Chrome dan Opera. Bahasa client yang digunakan untuk pembuatan software simulasi ini meliputi :

* HTML ( Hypertext Markup Language ) :

Merupakan bahasa markup yang digunakan untuk mendeskripsikan, membuat bagian bagian, dan membuat beragam elemen dan isi dari dokumen web. Contohnya paragraf, judul, wadah untuk tulisan, wadah untuk judul, navigasi, tombol, form input, dsb.

* CSS ( Cascading Style Sheet ) :

Merupakan bahasa yang mengatur bagaimana elemen HTML ditampilkan. Meliputi pengaturan warna, ukuran, jenis huruf, penggunaan gambar, tata letak, dan lainnya.

* Javascript :

Merupakan bahasa pemrograman berorientasi objek yang biasa digunakan untuk membuat efek interaksi pada dokumen web. Untuk software simulasi ini javascript digunakan dalam penampilan menu output dan plot grafik.

### 3.4.2 Menentukan Input Dan Output

**Input**

Input adalah nilai yang dimasukan kedalam software simulasi oleh pengguna. Dalam software simulasi ini yang menjadi input adalah :

* Jenis Simulasi :
  + Beam Dua Tumpuan
  + Beam Cantilever
  + Beam Dengan Tali Baja
* Jenis Penampang :
  + I 100 ( 100 x 50 )
  + I 140
  + I 180
  + I 200 ( 200 X 150 )
  + I 300 ( L 61.58 )
  + I 350 ( L 74.58 )
  + I 400 ( L 122.1 )
  + I 600 ( L 146.1 )
  + I 100 ( 100 x 75 )
  + I 150 ( 150 X 75 )
  + I 200 ( 200 X 90 )
  + I 250 ( L 48.79 )
  + I 300 ( L 83.47 )
  + I 350 ( L 111.11 )
  + I 450 ( L 116.8 )
  + I 600 ( L 224.5 )
  + I 125
  + I 150 ( 150 X 125 )
  + I 200 ( 200 X 100 )
  + I 250 ( L 70.73 )
  + I 300 ( L 97.88 )
  + I 400 ( L 91.73 )
  + I 450 ( L 146.1 )
* Jenis Material :
  + Baja SS 34
  + Baja SS 41
  + Baja SS 50 ( 275 )
  + Baja SS 50 ( 390 )
* Panjang Beam (L)
* Lokasi Beban (x)
* Massa Beban (m)
* Panjang Tali Baja Sumbu x (Ltx) , khusus untuk jenis simulasi Beam Dengan Tali Baja
* Panjang Tali Baja Sumbu y (Lty) , khusus untuk jenis simulasi Beam Dengan Tali Baja
* Cek Lokasi Titik Tertentu (x) , dapat di input setelah output awal keluar
* Cek Parameter di Lokasi Titik Tertentu , dapat di input setelah output awal keluar :

**Output**

Output adalah nilai yang dikeluarkan oleh software simulasi sebagai hasil pengolahan input. Dalam software simulasi ini yang menjadi output adalah :

* + Grafik dan nilai dari Gaya Normal Dalam (N)
  + Grafik dan nilai dari Gaya Geser Dalam (V)
  + Grafik dan nilai dari Momen Lentur Dalam (M)
  + Grafik dan nilai dari Total Tegangan Normal Arah Sumbu x (σx)
  + Grafik dan nilai dari Total Tegangan Normal Arah Sumbu y (σy)
  + Grafik dan nilai dari Tegangan Geser (τ)
  + Grafik dan nilai dari Total Tegangan Maksimal (σmax)
  + Faktor Keamanan (S)
  + Nilai Gaya Normal Dalam di titik tertentu (Nx)
  + Nilai Gaya Geser Dalam di titik tertentu (Vx)
  + Nilai Momen Lentur Dalam di titik tertentu (Mx)
  + Nilai Total Tegangan Normal Arah Sumbu x (σxi)
  + Nilai Total Tegangan Normal Arah Sumbu y (σyi)
  + Nilai Tegangan Geser (τi)
  + Grafik dan nilai dari Total Tegangan Maksimal (σmaxi)

### 3.4.3 Memasukan Persamaan Ke Dalam Model Pemrograman

**Pembagian Titik Nodal**

Setelah input dimasukan, Beam dibagi menjadi 20 titik nodal, tambahan 1 titik nodal posisi beban, 1 titik nodal di titik tarik tali baja. Pembagian titik nodal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam membuat plot grafik.

**Penggunaan Rumus di Tiap Titik Nodal**

Setelah didapatkan titik titik nodal, rumus yang telah diturunkan digunakan di tiap titik nodal sesuai dengan lokasi titik nodal pada beam sehingga sehingga dihasilkan output sejumlah titik nodal yang ditentukan.

**Penggunaan Rumus Untuk Lokasi Titik Tertentu**

Rumus yang telah diturunkan juga digunakan di lokasi titik tertentu untuk menghitung parameter yang dicari pada titik tertentu.

**Diagram Alir Perhitungan SIMBOL2 DICEK LAGI SESUAI DENGAN FLOWCHART STANDAR GA. A , symbol kayak saku**

**DILAMPIRAN JELASIN SIMBOL KOTAK2 NYA FLOWCHART. Subprogram**

**Sub program belum dikasih end**

START

Jenis Simulasi Yang Dipilih ?

Input :

- Jenis Simulasi

Beam Tali Baja

Beam Cantilever

F = m\*10

Input : Jenis Penampang, Jenis Material, L, x, m

Input : Jenis Penampang, Jenis Material, L, x, m, Lty, Ltx

ID\_Simulasi = 3

Tampilkan : Ilustrasi Beam Tali Baja

ID\_Simulasi = 2

ID\_Simulasi = 1

Tampilkan : Ilustrasi Beam 2 Penyangga

Tampilkan : Ilustrasi Beam Cantilever

Beam 2 Tumpuan

A

F = m\*10

Database Penampang

Ix, hp, ap, t1

A

3

1

2

Hitung Titik

Simulasi 1

Hitung Titik

Simulasi 2

Hitung Titik

Simulasi 3

Display :

Parameter, xi, Nilai Parameter

ID\_Simulasi ?

Cek Titik Tertentu ?

Tampilkan :

σmax, S, Grafik DBB, Grafik Nx, Grafik Vx, Grafik Mx, Grafik σx, Grafik σy, Grafik τ, Grafik σmax,

Input : Parameter (Nx / Vx / Mx / σx / σy / τ / σmax ), xi

TIDAK

YA

END

ID\_Simulasi ?

Iterasi\_Simulasi 1

Iterasi\_Simulasi 2

Iterasi Simulasi 3

2

3

1

Database Material

σy , W0

Ix, hp, ap, t1, σy

Ax = 0 N

R = W0\*L

By =

Ay = R + F - By

**S =**

**σxi = +**

**σyi =**

**σmaxi = +**

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi – F**

**Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**- F \* ( xi - x )**

YA

TIDAK

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi**

**Mx= ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

xi < x ?

Iterasi Simulasi 1

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi – F**

**Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) - F \* ( xi - x ) + MA**

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi**

**Mx= ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi ) + MA**

Ax = 0 N

R = W0\*L

Ay = R + F

MA = - 1 \* ( R \* 0,5L + F \* x )

**S =**

**σxi = +**

**σyi =**

**σmaxi = +**

YA

TIDAK

xi < x ?

Iterasi Simulasi 2

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi - tyi**

**Mx = ( Ay \* xi )**

**– ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**– ty \* ( xi - Lty )**

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi - ty – F**

**Mx = ( Ay \* xi )**

**– ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**– F \* ( xi - x )**

**– ty \* ( xi - Lty )**

TIDAK

TIDAK

YA

**Nx = \* ty**

**Vx = Ay - W0 \* xi**

**Mx = ( Ay \* xi )**

**– ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**Nx = \* ty**

**Vx = Ay - W0 \* xi – F**

**Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**– F \* ( xi - x )**

**σxi = +**

**σyi =**

**σmaxi = +**

**S =**

xi < Ltx ?

xi < Ltx ?

Iterasi Simulasi 3

R = W0\*L

ty =

Ax = \* ty

Ay = R + ty + F

xi < x ?

TIDAK

YA

YA

Titik Simulasi 1

Ax = 0 N

R = W0\*L

By =

Ay = R + F - By

xi < x ?

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi**

**Mx= ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**Nx = 0 N**

**Vx = Ay - W0 \* xi – F**

**Mx = ( Ay \* xi ) – ( W0 \* xi \* 0,5xi )**

**- F \* ( xi - x )**

TIDAK

**σxi = +**

**σyi =**

**σmaxi = +**

**S =**

### 3.4.4 Perancangan Aplikasi

Pembuatan Database Penampang dan Material

Penerapan Alur Perhitungan Ke Dalam Bahasa Pemrograman

Pembuatan Tampilan Input Output

### 3.4.5 Pengujian Aplikasi

Setelah aplikasi selesai dibuat, dilakukan pengujian perhitungan untuk tiap jenis kasus pembebanan kemudian dibandingkan hasilnya dengan perhitungan secara manual. Pada setiap hasil perhitungan digunakan 6 titik nodal untuk dibandingkan yaitu pada i = 0 , i = L , i = x , i = Ltx , dan nilai-nilai i tertentu lainnya yang terdapat pada batang.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |  |  |
| 20 |  |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |  |

## 3.5 Perhitungan Pengaruh Massa Jenis

Setelah dilakukan pengujian dan didapat nilai dari tiap simulasi, maka dibandingkan antara hasil perhitungan manual, dengan perhitungan menggunakan software simulasi. Kemudian dibandingkan antara hasil perhitungan penelitian sebelumnya yang tidak menggunakan massa jenis, dengan hasil perhitungan simulasi penelitian ini yang telah memasukan pengaruh massa jenis. Besar perbedaan nilai ini yang kemudian akan ditarik menjadi sebuah kesimpulan.

Pengaruh diukur denga metode MAPE

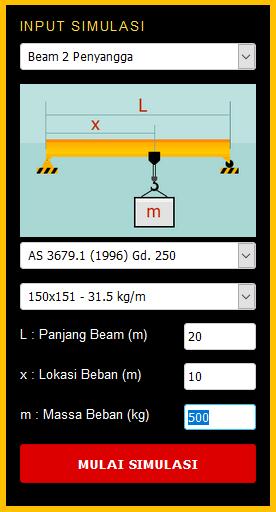
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **i** | **m = 1 kg** | | | **m = 400 kg** | | | **m = 10.000 kg** | | |
| **W0** | **W0=0** | **∆%** | **W0** | **W0=0** | **∆%** | **W0** | **W0=0** | **∆%** |
| 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 30 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

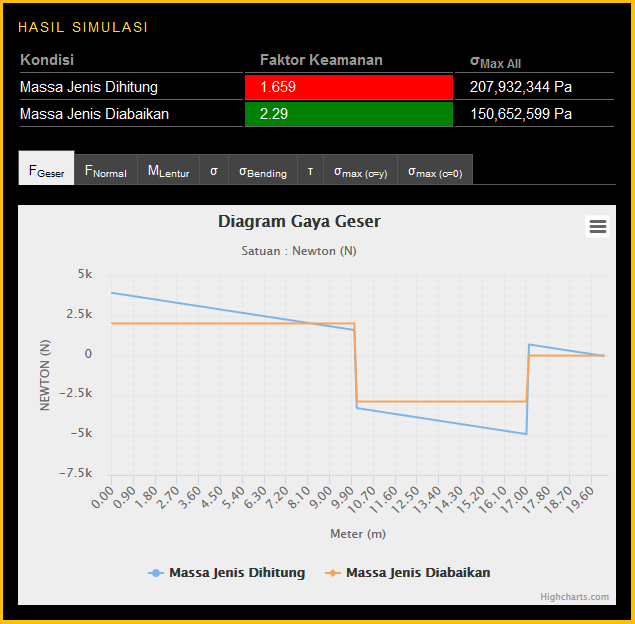
# IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

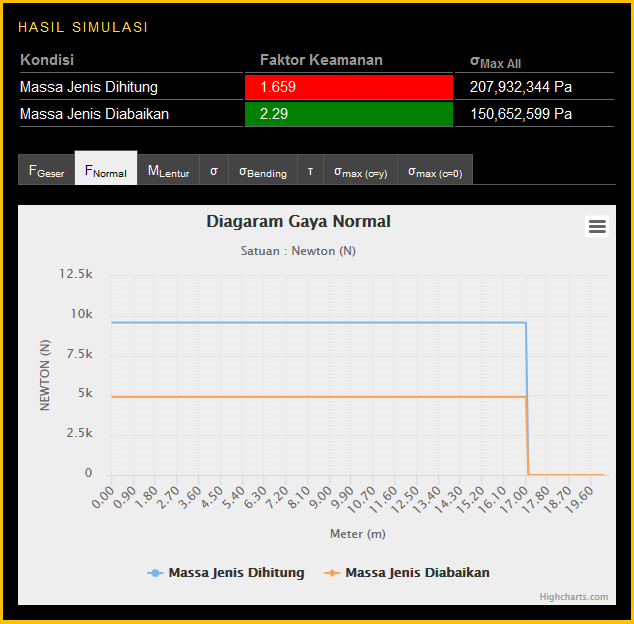
## 4.1 Hasil Perancangan Aplikasi

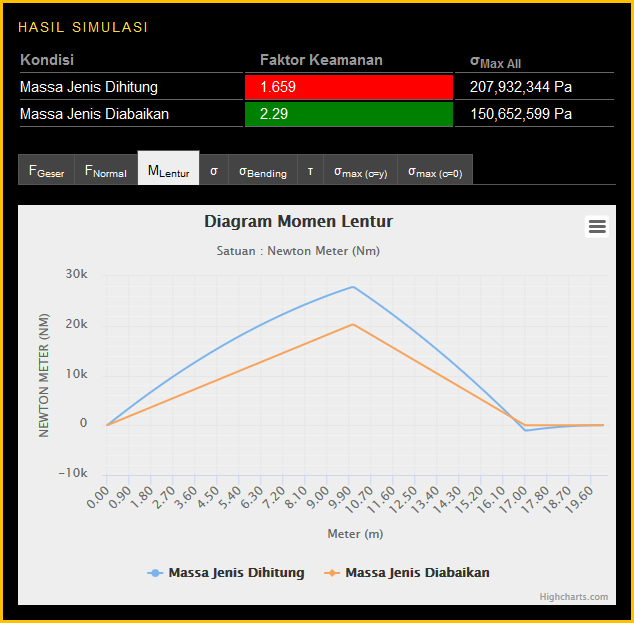
Hasil perancangan aplikasi ini dapat diakses melalui alamat web <http://crane.insanblog.com> . Terbuka untuk publik, dan dapat dibuka dari komputer maupun *smartphone* dari mana pun selama ada koneksi internet.

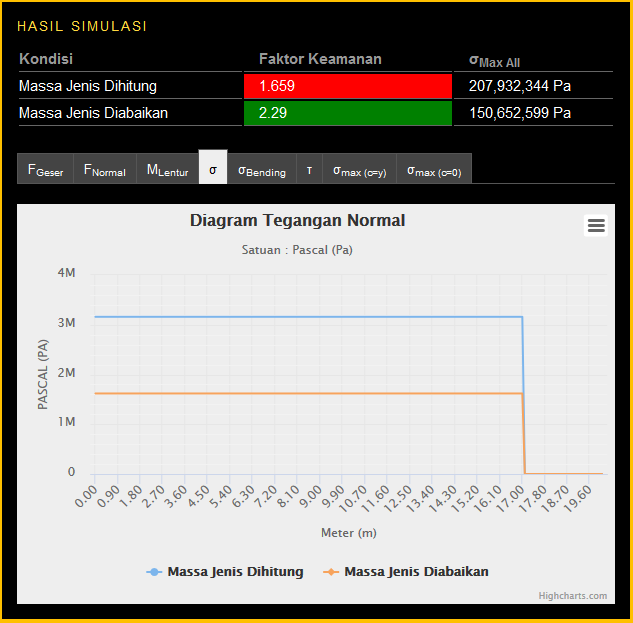


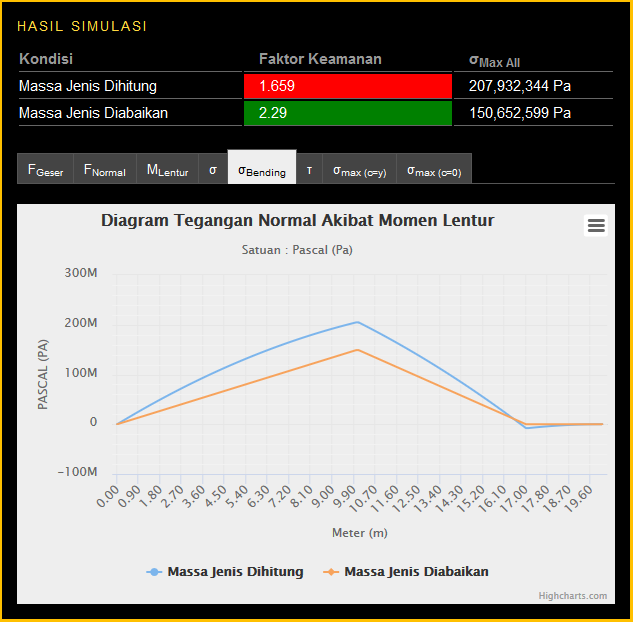


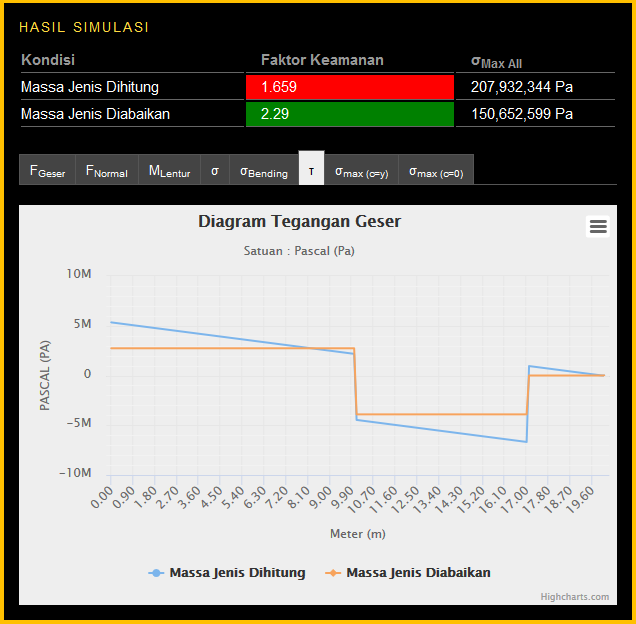


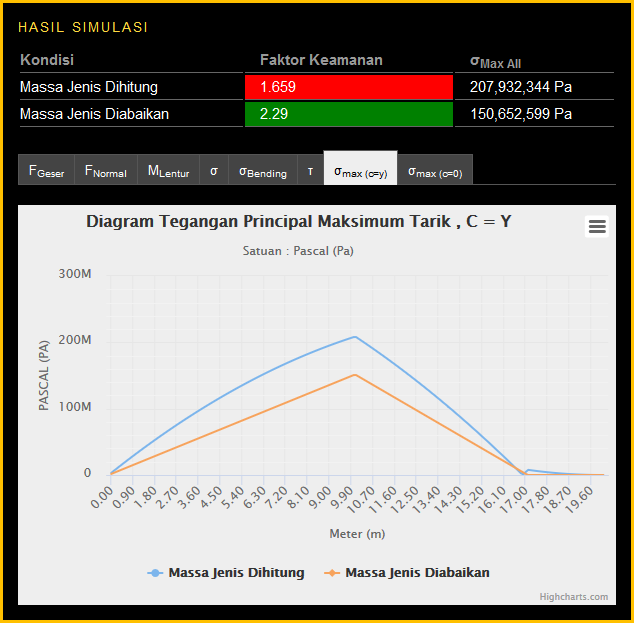


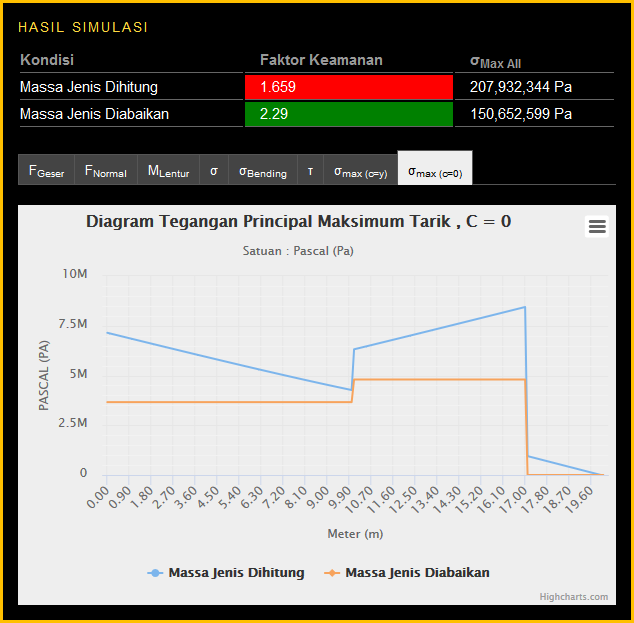












## 4.2 Pengujian Hasil Perhitungan Aplikasi

Dalam pengujian hasil perhitungan aplikasi ini dimasukan input sebagai berikut :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Input | Jenis Simulasi | | |
| Dua Penyangga | Cantilever | Tali Baja |
| Material | ASTM A572 (2001) Grade 50 | | |
| Penampang | 250 x175 – 59,1 kg/m | | |
| L (meter) | 25 | | |
| x (meter) | 15 | | |
| m (kg) | 400 | | |
| Ltx (meter) | - | | 20 |
| Lty (meter) | - | | 20 |

Dari literatur tabel material dan penampang, untuk material dan penampang tersebut didapat :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ix | Momen Inersia Penampang | 8541 | cm4 |
| σy | Tegangan Yield | 345 | N/mm2 |
| W0 | Massa Per Satuan Panjang | 59,1 | kg/m |
| h | Tinggi Penampang Batang | 255 | mm |
| b | Lebar Penampang Batang | 177 | mm |
| tweb | Tebal *web* | 9 | mm |
| tflange | Tebal *flange* | 15 | mm |
| Asection | Luas Penampang | 75,3 | cm2 |
| y | Jarak Maksimum Dari Tengah Penampang | 127,5 | mm |

Grafik hasil perhitungan gaya, momen lentur dan tegangan pada aplikasi dibentuk dari 200 titik nodal, namun pada hasil pengujian yang diperlihatkan adalah gaya, momen lentur, dan tegangan di enam titik nodal nya saja.

### 4.2.1 Batang Crane Dua Tumpuan

**Gaya geser di tiap titik nodal V(i) :**

**Gaya normal di tiap titik nodal N(i) :**

**Momen Lentur di tiap titik nodal M(i) :**

**Tegangan Normal di tiap titik nodal σ(i) :**

**Tegangan Normal Momen Lentur di tiap titik nodal σM(i) :**

**Tegangan Geser di tiap titik nodal τ(i):**

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y) di tiap titik nodal σmax (c=y)(i):**

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang Batang (c=0) di tiap titik nodal σmax (c=0)(i):**

**Safety Factor :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 3.489 | 3.489 | 0.000 | 9.933 | 9.933 | 0.000 |

### 4.2.2 Batang Crane Cantilever

**Gaya geser di tiap titik nodal V(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 18418.275 | 18418.275 | 0.000 | 3924.000 | 3924.000 | 0.000 |
| 5 | 15519.420 | 15519.420 | 0.000 | 3924.000 | 3924.000 | 0.000 |
| 10 | 12620.565 | 12620.565 | 0.000 | 3924.000 | 3924.000 | 0.000 |
| 15 | 5797.710 | 5797.710 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 2898.855 | 2898.855 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Gaya normal di tiap titik nodal N(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Momen Lentur di tiap titik nodal M(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | -240038.438 | -240038.438 | 0 | -58860.000 | -58860.000 | 0.000 |
| 5 | -155194.200 | -155194.200 | 0 | -39240.000 | -39240.000 | 0.000 |
| 10 | -84844.238 | -84844.238 | 0 | -19620.000 | -19620.000 | 0.000 |
| 15 | -28988.550 | -28988.550 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | -7247.138 | -7247.138 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Normal di tiap titik nodal σ(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | % Selisih | Aplikasi | Manual | %Selisih |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tegangan Normal Momen Lentur di tiap titik nodal σM(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | -354113606.4 | -354113606.428 | 0.000 | -86832455.216 | -86832455.22 | 0.000 |
| 5 | -228948240.253 | -228948240.253 | 0.000 | -57888303.477 | -57888303.48 | 0.000 |
| 10 | -125165366.175 | -125165366.175 | 0.000 | -28944151.739 | -28944151.74 | 0.000 |
| 15 | -42764984.194 | -42764984.194 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 20 | -10691246.048 | -10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |

**Tegangan Geser di tiap titik nodal τ(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 5 | 7471344.24 | 7471344.240 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 10 | 6075780.256 | 6075780.256 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 15 | 2791127.968 | 2791127.968 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 30 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y) di tiap titik nodal σmax (c=y)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 354113606.428 | 354113606.428 | 0.000 | 86832455.216 | 86832455.22 | 0.000 |
| 5 | 228948240.253 | 228948240.253 | 0.000 | 57888303.477 | 57888303.48 | 0.000 |
| 10 | 125165366.175 | 125165366.175 | 0.000 | 28944151.739 | 28944151.74 | 0.000 |
| 15 | 42764984.194 | 42764984.194 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 20 | 10691246.048 | 10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 30 | 354113606.428 | 354113606.428 | 0.000 | 86832455.216 | 86832455.22 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang Batang (c=0) di tiap titik nodal σmax (c=0)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 5 | 7471344.24 | 7471344.24 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 10 | 6075780.256 | 6075780.256 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 15 | 2791127.968 | 2791127.968 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 30 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |

**Safety Factor :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0.974 | 0.974 | 0.000 | 3.973 | 3.973 | 0.000 |

### 4.2.3 Batang Crane Dengan Tali Baja

**Gaya geser di tiap titik nodal V(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 6416.353 | 6416.353 | 0.000 | 981.000 | 981.000 | 0.000 |
| 5 | 3517.498 | 3517.498 | 0.000 | 981.000 | 981.000 | 0.000 |
| 10 | 618.643 | 618.643 | 0.000 | 981.000 | 981.000 | 0.000 |
| 15 | -6204.212 | -6204.212 | 0.000 | -2943.000 | -2943.000 | 0.000 |
| 20 | 2898.855 | 2898.855 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Gaya normal di tiap titik nodal N(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 5 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 10 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 15 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Momen Lentur di tiap titik nodal M(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 24834.628 | 24834.628 | 0.000 | 4905.000 | 4905.000 | 0.000 |
| 10 | 35174.981 | 35174.981 | 0.000 | 9810.000 | 9810.000 | 0.000 |
| 15 | 31021.059 | 31021.059 | 0.000 | 14715.000 | 14715.000 | 0.000 |
| 20 | -7247.138 | -7247.138 | -0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Normal di tiap titik nodal σ(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 5 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 10 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 15 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Normal Momen Lentur di tiap titik nodal σM(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 36636964.568 | 36636964.568 | 0.000 | 7236037.935 | 7236037.935 | 0.000 |
| 10 | 51891437.039 | 51891437.039 | 0.000 | 14472075.869 | 14472075.869 | 0.000 |
| 15 | 45763417.413 | 45763417.413 | 0.000 | 21708113.804 | 21708113.804 | 0.000 |
| 20 | -10691246.048 | -10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Geser di tiap titik nodal τ(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 3088954.546 | 3088954.546 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |
| 5 | 1693390.562 | 1693390.562 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |
| 10 | 297826.578 | 297826.578 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |
| 15 | -2986825.710 | -2986825.710 | 0.000 | -1416816.228 | -1416816.228 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30 | 3088954.546 | 3088954.546 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y) di tiap titik nodal σmax (c=y)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 5 | 39824726.022 | 39824726.022 | 0.000 | 8017711.241 | 8017711.241 | 0.000 |
| 10 | 55079198.493 | 55079198.493 | 0.000 | 15253749.176 | 15253749.176 | 0.000 |
| 15 | 48951178.867 | 48951178.867 | 0.000 | 22489787.111 | 22489787.111 | 0.000 |
| 20 | 10691246.048 | 10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang Batang (c=0) di tiap titik nodal σmax (c=0)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 5069811.676 | 5069811.676 | 0.000 | 1003857.210 | 1003857.210 | 0.000 |
| 5 | 3919397.308 | 3919397.308 | 0.000 | 1003857.210 | 1003857.210 | 0.000 |
| 10 | 3215348.100 | 3215348.100 | 0.000 | 1003857.210 | 1003857.210 | 0.000 |
| 15 | 4979376.790 | 4979376.790 | 0.000 | 1860571.838 | 1860571.838 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Safety Factor :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 6.209 | 6.029 | 0.000 | 15.340 | 15.340 | 0.000 |

## 4.3 Pengaruh Massa Jenis Batang Terhadap Tegangan

Dalam melihat pengaruh massa jenis dimasukan input sebagai berikut :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Input | Jenis Simulasi | | |
| Dua Penyangga | Cantilever | Tali Baja |
| Material | ASTM A572 (2001) Grade 50 | | |
| Penampang | 250 x175 – 59,1 kg/m | | |
| L (meter) | 25 | | |
| x (meter) | 15 | | |
| m (kg) | 1, 10, 100, 1000, 10000, 10000 | | |
| Ltx (meter) | - | | 20 |
| Lty (meter) | - | | 20 |

Dari literatur tabel material dan penampang, untuk material dan penampang tersebut didapat :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ix | Momen Inersia Penampang | 8541 | cm4 |
| σy | Tegangan Yield | 345 | N/mm2 |
| W0 | Massa Per Satuan Panjang | 59,1 | kg/m |
| h | Tinggi Penampang Batang | 255 | mm |
| b | Lebar Penampang Batang | 177 | mm |
| tweb | Tebal *web* | 9 | mm |
| tflange | Tebal *flange* | 15 | mm |
| Asection | Luas Penampang | 75,3 | cm2 |
| y | Jarak Maksimum Dari Tengah Penampang | 127,5 | mm |

Hasil dilihat berdasarkan nilai rata-rata dari output ketika massa jenis dihitung, dan ketika massa jenis diabaikan, kemudian dibandingkan dengan massa beban, sehingga dapat dilihat pengaruh penambahan massa beban terhadap persentase beda nilai rata-rata dari output.

### 4.3.1 Batang Crane Dua Tumpuan

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa** | **Nilai Rata-Rata (Pa)** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 | 44367324.469 | 43200.226 | 99.90% |
| 10 | 44756126.507 | 432002.265 | 99.03% |
| 100 | 48644146.890 | 4320022.648 | 91.12% |
| 1000 | 87524350.718 | 43200226.476 | 50.64% |
| 10000 | 476326388.999 | 432002264.756 | 9.31% |
| 100000 | 4364346771.806 | 4320022647.563 | 1.02% |

**Faktor Keamanan**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa** | **Nilai Rata-Rata** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 | 5.158 | 3973.169 | 76936.46% |
| 10 | 5.108 | 397.317 | 7678.71% |
| 100 | 4.646 | 39.732 | 755.11% |
| 1000 | 2.285 | 3.973 | 73.88% |
| 10000 | 0.370 | 0.397 | 7.39% |
| 100000 | 0.039 | 0.040 | 0.74% |

### 4.3.2 Batang Crane Cantilever

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa** | **Nilai Rata-Rata (Pa)** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 | 89381791.706 | 65340.343 | 99.93% |
| 10 | 89969854.789 | 653403.425 | 99.27% |
| 100 | 95850485.618 | 6534034.254 | 93.18% |
| 1000 | 154656793.908 | 65340342.544 | 57.75% |
| 10000 | 742719876.807 | 653403425.444 | 12.03% |
| 100000 | 6623350705.802 | 6534034254.439 | 1.35% |

**Faktor Keamanan**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa** | **Nilai Rata-Rata** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 | 1.290 | 1589.268 | 123125.00% |
| 10 | 1.280 | 158.927 | 12312.50% |
| 100 | 1.194 | 15.893 | 1231.25% |
| 1000 | 0.712 | 1.589 | 123.13% |
| 10000 | 0.142 | 0.159 | 12.31% |
| 100000 | 0.016 | 0.016 | 1.23% |

### 4.3.3 Batang Crane Dengan Tali Baja

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa** | **Nilai Rata-Rata (Pa)** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 | 21606610.027 | 23155.682 | 99.89% |
| 10 | 21809543.636 | 231556.820 | 98.94% |
| 100 | 23840990.129 | 2315568.201 | 90.29% |
| 1000 | 44451488.657 | 23155682.008 | 47.91% |
| 10000 | 252673139.909 | 231556820.075 | 8.36% |
| 100000 | 2336684520.585 | 2315568200.751 | 0.90% |

**Faktor Keamanan**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa** | **Nilai Rata-Rata** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 | 8.619 | 6136.119 | 71093.87% |
| 10 | 8.550 | 613.612 | 7076.81% |
| 100 | 7.903 | 61.361 | 676.45% |
| 1000 | 4.131 | 6.136 | 48.54% |
| 10000 | 0.586 | 0.614 | 4.71% |
| 100000 | 0.061 | 0.061 | 0.47% |

## 4.4 Perbandingan Kasus Pembebanan Terhadap Faktor Keamanan

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Faktor Keamanan | | | | | |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Massa Beban | 1 kg | 100 kg | 10.000 kg | 1 kg | 100 kg | 10.000 kg |
| Dua Tumpuan | 5.158 | 4.646 | 0.370 | 3973.169 | 39.732 | 0.397 |
| Cantilever | 1.290 | 1.194 | 0.142 | 1589.268 | 15.893 | 0.159 |
| Tali Baja | 8.619 | 7.903 | 0.586 | 6136.119 | 61.361 | 0.614 |

# V. KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

1. Hasil perhitungan aplikasi sama dengan hasil perhitungan secara manual.
2. Pada massa beban 1 kg perbedaan hasil perhitungan antara massa jenis dihitung dan massa jenis diabaikan, terlihat jelas. Sehingga pada beban ini massa jenis batang tidak dapat diabaikan
3. Pada massa beban 10.000 kg perbedaan hasil perhitungan antara massa jenis dihitung dan massa jenis diabaikan, terlihat sangat berdekatan. Sehingga pada beban ini massa jenis batang dapat diabaikan.
4. Untuk bahan material, panjang batang, dan lokasi massa beban yang sama, semakin tinggi massa beban maka Faktor Keamanan semakin berkurang.

## 5.2 Saran

# DAFTAR PUSTAKA

BBC.co.uk. (2014). *Calculating how to balance moments – Higher tier*. Retrieved from BBC.co.uk: http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/triple\_aqa/using\_physics\_make\_things\_work/moments/revision/4/

Shipway, A. &. (2008). *Force, mass, acceleration - Solves Newton's second law with one unknown.* Retrieved from CalcTool: http://www.calctool.org/CALC/phys/newtonian/fma

Sanpaz. (2009, Maret 11). *Stress (mechanics)*. Retrieved from Wikipedia: https://simple.wikipedia.org/wiki/Stress\_%28mechanics%29

semesters.in. (2015). *Normal and Shear Stresses*. Retrieved from semesters.in: http://semesters.in/normal-and-shear-stresses/

Gumilar, A., & Al-Amin, M. I. (2014). *Simulasi Pembebanan Crane*. Retrieved from Simulasi Pembebanan Crane: http://crane.insanblog.com/

Gumilar, A., Puspawardhani, G., & Al-Amin, M. I. (2014). *Analisis Tegangan dan Kekuatan Beam pada Crane Berbasis Web.* Cimahi: Unjani.

Steven, C. C., & Raymond, C. P. (2009). *Numerical Methods for Engineers.* McGraw-Hill.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists* (Vol. 9). Pearson.

# LAMPIRAN : 1. PENGUJIAN HASIL PERHITUNGAN APLIKASI

### 1. Batang Crane Dua Tumpuan

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Gaya geser di tiap titik nodal V(i) :** | | | | | | |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 8816.738 | 8816.738 | 0 | 1569.6 | 1569.600 | 0 |
| 5 | 5917.883 | 5917.883 | 0 | 1569.6 | 1569.600 | 0 |
| 10 | 3019.028 | 3019.028 | 0 | 1569.6 | 1569.600 | 0 |
| 15 | -3803.828 | -3803.828 | 0 | -2354.4 | -2354.400 | 0 |
| 20 | -6702.683 | -6702.683 | 0 | -2354.4 | -2354.400 | 0 |
| 25 | -9601.538 | -9601.538 | 0 | -2354.4 | -2354.400 | 0 |

**Gaya normal di tiap titik nodal N(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | % Selisih | Aplikasi | Manual | %Selisih |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Momen Lentur di tiap titik nodal M(i) :** | | | |  |  |  |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | % Selisih | Aplikasi | Manual | %Selisih |
| 0 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 | 0 |
| 5 | 36836.55 | 36836.550 | 0 | 7848 | 7848.000 | 0 |
| 10 | 59178.825 | 59178.825 | 0 | 15696 | 15696.000 | 0 |
| 15 | 67026.825 | 67026.825 | 0 | 23544 | 23544.000 | 0 |
| 20 | 40760.55 | 40760.550 | 0 | 11772 | 11772.000 | 0 |
| 25 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 | 0 |

**Tegangan Normal di tiap titik nodal σ(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | % Selisih | Aplikasi | Manual | %Selisih |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tegangan Normal Momen Lentur di tiap titik nodal σM(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 54342644.889 | 54342644.889 | 0.000 | 11577660.695 | 11577660.695 | 0.000 |
| 10 | 87302797.682 | 87302797.682 | 0.000 | 23155321.391 | 23155321.391 | 0.000 |
| 15 | 98880458.377 | 98880458.377 | 0.000 | 34732982.086 | 34732982.086 | 0.000 |
| 20 | 60131475.237 | 60131475.237 | 0.000 | 17366491.043 | 17366491.043 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Geser di tiap titik nodal τ(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 4244545.282 | 4244545.282 | 0.000 | 755635.321 | 755635.321 | 0.000 |
| 5 | 2848981.298 | 2848981.298 | 0.000 | 755635.321 | 755635.321 | 0.000 |
| 10 | 1453417.313 | 1453417.313 | 0.000 | 755635.321 | 755635.321 | 0.000 |
| 15 | -1831234.974 | -1831234.974 | 0.000 | -1133452.982 | -1133452.982 | 0.000 |
| 20 | -3226798.958 | -3226798.958 | 0.000 | -1133452.982 | -1133452.982 | 0.000 |
| 25 | -4622362.943 | -4622362.943 | 0.000 | -1133452.982 | -1133452.982 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y) di tiap titik nodal σmax (c=y)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 54342644.889 | 54342644.889 | 0.000 | 11577660.695 | 11577660.695 | 0.000 |
| 10 | 87302797.682 | 87302797.682 | 0.000 | 23155321.391 | 23155321.391 | 0.000 |
| 15 | 98880458.377 | 98880458.377 | 0.000 | 34732982.086 | 34732982.086 | 0.000 |
| 20 | 60131475.237 | 60131475.237 | 0.000 | 17366491.043 | 17366491.043 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang Batang (c=0) di tiap titik nodal σmax (c=0)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 4244545.282 | 4244545.282 | 0.000 | 755635.321 | 755635.321 | 0.000 |
| 5 | 2848981.298 | 2848981.298 | 0.000 | 755635.321 | 755635.321 | 0.000 |
| 10 | 1453417.313 | 1453417.313 | 0.000 | 755635.321 | 755635.321 | 0.000 |
| 15 | 1831234.974 | 1831234.974 | 0.000 | 1133452.982 | 1133452.982 | 0.000 |
| 20 | 3226798.958 | 3226798.958 | 0.000 | 1133452.982 | 1133452.982 | 0.000 |
| 25 | 4622362.943 | 4622362.943 | 0.000 | 1133452.982 | 1133452.982 | 0.000 |

**Safety Factor :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 3.489 | 3.489 | 0.000 | 9.933 | 9.933 | 0.000 |

### 2. Batang Crane Cantilever

**Gaya geser di tiap titik nodal V(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 18418.275 | 18418.275 | 0.000 | 3924.000 | 3924.000 | 0.000 |
| 5 | 15519.420 | 15519.420 | 0.000 | 3924.000 | 3924.000 | 0.000 |
| 10 | 12620.565 | 12620.565 | 0.000 | 3924.000 | 3924.000 | 0.000 |
| 15 | 5797.710 | 5797.710 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 2898.855 | 2898.855 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Gaya normal di tiap titik nodal N(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Momen Lentur di tiap titik nodal M(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | -240038.438 | -240038.438 | 0 | -58860.000 | -58860.000 | 0.000 |
| 5 | -155194.200 | -155194.200 | 0 | -39240.000 | -39240.000 | 0.000 |
| 10 | -84844.238 | -84844.238 | 0 | -19620.000 | -19620.000 | 0.000 |
| 15 | -28988.550 | -28988.550 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | -7247.138 | -7247.138 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Normal di tiap titik nodal σ(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | % Selisih | Aplikasi | Manual | %Selisih |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tegangan Normal Momen Lentur di tiap titik nodal σM(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | -354113606.4 | -354113606.428 | 0.000 | -86832455.216 | -86832455.22 | 0.000 |
| 5 | -228948240.253 | -228948240.253 | 0.000 | -57888303.477 | -57888303.48 | 0.000 |
| 10 | -125165366.175 | -125165366.175 | 0.000 | -28944151.739 | -28944151.74 | 0.000 |
| 15 | -42764984.194 | -42764984.194 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 20 | -10691246.048 | -10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |

**Tegangan Geser di tiap titik nodal τ(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 5 | 7471344.24 | 7471344.240 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 10 | 6075780.256 | 6075780.256 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 15 | 2791127.968 | 2791127.968 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 30 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y) di tiap titik nodal σmax (c=y)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 354113606.428 | 354113606.428 | 0.000 | 86832455.216 | 86832455.22 | 0.000 |
| 5 | 228948240.253 | 228948240.253 | 0.000 | 57888303.477 | 57888303.48 | 0.000 |
| 10 | 125165366.175 | 125165366.175 | 0.000 | 28944151.739 | 28944151.74 | 0.000 |
| 15 | 42764984.194 | 42764984.194 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 20 | 10691246.048 | 10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 30 | 354113606.428 | 354113606.428 | 0.000 | 86832455.216 | 86832455.22 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang Batang (c=0) di tiap titik nodal σmax (c=0)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 5 | 7471344.24 | 7471344.24 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 10 | 6075780.256 | 6075780.256 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |
| 15 | 2791127.968 | 2791127.968 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 25 | 0 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 30 | 8866908.224 | 8866908.224 | 0.000 | 1889088.303 | 1889088.303 | 0.000 |

**Safety Factor :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0.974 | 0.974 | 0.000 | 3.973 | 3.973 | 0.000 |

### 3. Batang Crane Dengan Tali Baja

**Gaya geser di tiap titik nodal V(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 6416.353 | 6416.353 | 0.000 | 981.000 | 981.000 | 0.000 |
| 5 | 3517.498 | 3517.498 | 0.000 | 981.000 | 981.000 | 0.000 |
| 10 | 618.643 | 618.643 | 0.000 | 981.000 | 981.000 | 0.000 |
| 15 | -6204.212 | -6204.212 | 0.000 | -2943.000 | -2943.000 | 0.000 |
| 20 | 2898.855 | 2898.855 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Gaya normal di tiap titik nodal N(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 5 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 10 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 15 | 24003.844 | 24003.844 | 0.000 | 5886.000 | 5886.000 | 0.000 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Momen Lentur di tiap titik nodal M(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 24834.628 | 24834.628 | 0.000 | 4905.000 | 4905.000 | 0.000 |
| 10 | 35174.981 | 35174.981 | 0.000 | 9810.000 | 9810.000 | 0.000 |
| 15 | 31021.059 | 31021.059 | 0.000 | 14715.000 | 14715.000 | 0.000 |
| 20 | -7247.138 | -7247.138 | -0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Normal di tiap titik nodal σ(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 5 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 10 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 15 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Normal Momen Lentur di tiap titik nodal σM(i) :**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 36636964.568 | 36636964.568 | 0.000 | 7236037.935 | 7236037.935 | 0.000 |
| 10 | 51891437.039 | 51891437.039 | 0.000 | 14472075.869 | 14472075.869 | 0.000 |
| 15 | 45763417.413 | 45763417.413 | 0.000 | 21708113.804 | 21708113.804 | 0.000 |
| 20 | -10691246.048 | -10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Geser di tiap titik nodal τ(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 3088954.546 | 3088954.546 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |
| 5 | 1693390.562 | 1693390.562 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |
| 10 | 297826.578 | 297826.578 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |
| 15 | -2986825.710 | -2986825.710 | 0.000 | -1416816.228 | -1416816.228 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30 | 3088954.546 | 3088954.546 | 0.000 | 472272.076 | 472272.076 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y) di tiap titik nodal σmax (c=y)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 3187761.454 | 3187761.454 | 0.000 | 781673.307 | 781673.307 | 0.000 |
| 5 | 39824726.022 | 39824726.022 | 0.000 | 8017711.241 | 8017711.241 | 0.000 |
| 10 | 55079198.493 | 55079198.493 | 0.000 | 15253749.176 | 15253749.176 | 0.000 |
| 15 | 48951178.867 | 48951178.867 | 0.000 | 22489787.111 | 22489787.111 | 0.000 |
| 20 | 10691246.048 | 10691246.048 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang Batang (c=0) di tiap titik nodal σmax (c=0)(i):**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 0 | 5069811.676 | 5069811.676 | 0.000 | 1003857.210 | 1003857.210 | 0.000 |
| 5 | 3919397.308 | 3919397.308 | 0.000 | 1003857.210 | 1003857.210 | 0.000 |
| 10 | 3215348.100 | 3215348.100 | 0.000 | 1003857.210 | 1003857.210 | 0.000 |
| 15 | 4979376.790 | 4979376.790 | 0.000 | 1860571.838 | 1860571.838 | 0.000 |
| 20 | 1395563.984 | 1395563.984 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Safety Factor :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Massa Jenis Dihitung | | | Massa Jenis Diabaikan | | |
| Aplikasi | Manual | Selisih | Aplikasi | Manual | Selisih |
| 6.209 | 6.029 | 0.000 | 15.340 | 15.340 | 0.000 |