**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**

**2017**

# 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 2017

**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 : 3 Januari 2017

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 gaya-gaya, momen, dan tegangan-tegangan yang terjadi pada batang *crane* *I-beam* dalam tiga kasus pembebanan yaitu pembebanan pada batang *crane* dua tumpuan, batang crane tumpuan jepit, 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, S.T., M.T. 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, S.T,. M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani.
4. Wirawan Piseno, S.T., M.T. 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 dan kerabat terdekat 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 2017

Penulis

# DAFTAR ISI

[SAMPUL](#_Toc440647152) i

[HALAMAN PENGESAHAN ii](#_Toc471207106)

[LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK iii](#_Toc471207107)

[ABSTRAK iv](#_Toc471207108)

[KATA PENGANTAR v](#_Toc471207109)

[DAFTAR ISI vii](#_Toc471207110)

[DAFTAR TABEL xi](#_Toc471207111)

[DAFTAR GAMBAR xii](#_Toc471207112)

[1. PENDAHULUAN 1](#_Toc471207113)

[1.1 Latar Belakang 1](#_Toc471207114)

[1.2 Rumusan Masalah 2](#_Toc471207115)

[1.3 Tujuan 2](#_Toc471207116)

[1.4 Manfaat 2](#_Toc471207117)

[1.5 Batasan Masalah 3](#_Toc471207118)

[2. TINJAUAN PUSTAKA 4](#_Toc471207119)

[2.1 Teori Dasar Mekanika 4](#_Toc471207120)

[2.1.1 Pusat Massa dan Pusat Gravitsi 4](#_Toc471207121)

[2.1.2 Jenis Beban 5](#_Toc471207122)

[2.1.2 Gaya 6](#_Toc471207123)

[2.1.3 Momen Lentur 7](#_Toc471207124)

[2.1.4 Tegangan Normal 8](#_Toc471207125)

[2.1.5 Tegangan Geser 9](#_Toc471207126)

[2.1.6 Tegangan *Principal* Maksimum 9](#_Toc471207127)

[2.1.8 Tegangan *Yield* dan Tegangan *Tensile* 11](#_Toc471207128)

[2.1.7 Faktor Keamanan 11](#_Toc471207129)

[2.2 Batang *Crane* 12](#_Toc471207130)

[2.2.2 Macam-Macam Tumpuan 12](#_Toc471207131)

[2.2.3 Batang *Crane* Dua Tumpuan 14](#_Toc471207132)

[2.2.4 Batang *Crane* Tumpuan Jepit 14](#_Toc471207133)

[2.2.5 Batang *Crane* Dengan Tali Baja 15](#_Toc471207134)

[2.2.6 Material dan Penampang Batang *Crane* 16](#_Toc471207135)

[2.3 Aplikasi Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang *Crane* 17](#_Toc471207136)

[2.3.1 Deskripsi Sistem Informasi 17](#_Toc471207137)

[2.3.2 Tampilan Program 17](#_Toc471207138)

[2.4 *Flowchart* 19](#_Toc471207139)

[2.5 Fungsi Matematika 20](#_Toc471207140)

[III. METODOLOGI PENELITIAN 21](#_Toc471207141)

[3.1 Studi Pendahuluan 22](#_Toc471207142)

[3.1.1 Penelitian Yang Telah Ada 22](#_Toc471207143)

[3.1.2 Matrix Fitur Simulasi Pembebanan Yang Telah Ada 22](#_Toc471207144)

[3.2 Perumusan Masalah 23](#_Toc471207145)

[3.2.1 Pengaruh Massa Jenis 23](#_Toc471207146)

[3.2.2 Matrix Fitur Simulasi Pembebanan Setelah Ditambah Massa Jenis 23](#_Toc471207147)

[3.3 Penurunan Rumus 24](#_Toc471207148)

[3.3.1 Simbol dan Penamaan 24](#_Toc471207149)

[3.3.2 Massa Jenis Dihitung dan Massa Jenis Diabaikan 26](#_Toc471207150)

[3.3.3 Pembagian Titik Nodal 27](#_Toc471207151)

[3.3.4 Perhitungan Awal dan Pendefinisian Fungsi Awal 27](#_Toc471207152)

[3.3.5 Batang Crane Dua Tumpuan 28](#_Toc471207153)

[3.3.4 Batang Crane Tumpuan Jepit 30](#_Toc471207154)

[3.3.5 Batang Crane Dengan Tali Baja 31](#_Toc471207155)

[3.3.6 Perhitungan Tegangan 33](#_Toc471207156)

[3.3.7 Perhitungan Faktor Keamanan 33](#_Toc471207157)

[3.4 Pembuatan Aplikasi 33](#_Toc471207158)

[3.4.1 Menentukan Input dan Output Perhitungan Dari Aplikasi 33](#_Toc471207159)

[3.4.2 Menentukan Desain Tampilan Aplikasi 34](#_Toc471207160)

[3.4.3 Memilih Piranti Pembuatan Aplikasi 35](#_Toc471207161)

[3.4.4 Membuat Langkah Perhitungan 39](#_Toc471207162)

[3.4.5 Pengujian Aplikasi 43](#_Toc471207163)

[3.5 Perhitungan Pengaruh Massa Jenis 43](#_Toc471207164)

[IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 44](#_Toc471207165)

[4.1 Hasil Perancangan Aplikasi 44](#_Toc471207166)

[4.2 Pengujian Hasil Perhitungan Aplikasi 53](#_Toc471207167)

[4.2.1 Batang Crane Dua Tumpuan 54](#_Toc471207168)

[4.2.2 Batang Crane Tumpuan Jepit 62](#_Toc471207169)

[4.2.3 Batang Crane Dengan Tali Baja 70](#_Toc471207170)

[4.3 Pengaruh Massa Jenis Batang Terhadap Tegangan 78](#_Toc471207171)

[4.3.1 Batang Crane Dua Tumpuan 79](#_Toc471207172)

[4.3.2 Batang Crane Tumpuan Jepit 81](#_Toc471207173)

[4.3.3 Batang Crane Dengan Tali Baja 83](#_Toc471207174)

[4.4 Perbandingan Kasus Pembebanan Terhadap Faktor Keamanan 85](#_Toc471207175)

[V. KESIMPULAN DAN SARAN 86](#_Toc471207176)

[5.1 Kesimpulan 86](#_Toc471207177)

[5.2 Saran 86](#_Toc471207178)

[DAFTAR PUSTAKA 87](#_Toc471207179)

[LAMPIRAN : 1. PENGUJIAN HASIL PERHITUNGAN APLIKASI 89](#_Toc471207180)

[1. Batang Crane Dua Tumpuan 89](#_Toc471207181)

[2. Batang Crane Tumpuan Jepit 91](#_Toc471207182)

[3. Batang Crane Dengan Tali Baja 94](#_Toc471207183)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 3. 1 *State of the art* Analisis Tegangan Pada Material (2014) 22](#_Toc471205311)

[Tabel 3. 2 State of the art Analisis Tegangan Pada Material (2015) 23](#_Toc471205312)

[Tabel 3. 3 Simbol dan Penamaan yang digunakan dalam perhitungan 24](#_Toc471205313)

[Tabel 3.4 Penjelasan Kategori Simbol dan Penamaan 26](#_Toc471205314)

[Tabel 3.5 Pengujian aplikasi dengan hasil hitung manual 43](#_Toc471205315)

[Tabel 3.6 Perhitungan pengaruh massa jenis 43](#_Toc471205316)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2. 1 Contoh lokasi titik pusat massa beragam jenis benda 6](#_Toc471206680)

[Gambar 2. 2 Ilustrasi beban terpusat 7](#_Toc471206681)

[Gambar 2. 3 Ilustrasi beban terdistribusi merata 7](#_Toc471206682)

[Gambar 2. 4 Ilustrasi beban terdistribusi tidak merata 8](#_Toc471206683)

[Gambar 2. 5 Ilustrasi Hukum 1 Newton 8](#_Toc471206684)

[Gambar 2.6 Ilustrasi momen lentur 9](#_Toc471206685)

[Gambar 2. 7 Ilustrasi tegangan normal 10](#_Toc471206686)

[Gambar 2. 8 Ilustrasi Tegangan Geser 11](#_Toc471206687)

[Gambar 2. 9 Lingkaran *Mohr* 12](#_Toc471206688)

[Gambar 2.10 Kurva tegangan - regangan untuk material *ductile* 13](#_Toc471206689)

[Gambar 2.11 Macam-macam tumpuan 14](file:///C:\Users\INSAN\Downloads\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471206690)

[Gambar 2.12 Arah Gaya Reaksi pada tumpuan 15](file:///C:\Users\INSAN\Downloads\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471206691)

[Gambar 2. 13 Ilustrasi Batang *Crane* Dua Tumpuan 16](#_Toc471206692)

[Gambar 2. 14 Ilustrasi Batang *Crane* Tumpuan Jepit 16](#_Toc471206693)

[Gambar 2.15 Ilustrasi Batang *Crane* Dengan Tali Baja 17](#_Toc471206694)

[Gambar 2.16 Contoh Ilustrasi dan Simbolisasi Penampang *I-Beam* 18](#_Toc471206695)

[Gambar 2. 17 Tampilan Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang *Crane* 19](#_Toc471206696)

[Gambar 2. 18 Tampilan Hasil Simulasi Program 20](#_Toc471206697)

[Gambar 2. 19 Contoh beragam fungsi x terhadap y 22](#_Toc471206698)

[Gambar 3.1 Ilustrasi pembagian titik nodal pada batang 27](#_Toc471223555)

[Gambar 3. 2 DBB Batang Crane Dua Tumpuan 28](#_Toc471223556)

[Gambar 3. 3 DBB Batang Crane Tumpuan Jepit 30](#_Toc471223557)

[Gambar 3.4 DBB gaya-gaya dalam di tiap posisi i 30](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223558)

[Gambar 3. 5 DBB Batang Crane Dengan Tali Baja 31](#_Toc471223559)

[Gambar 3.6 DBB gaya-gaya dalam di tiap posisi i 32](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223560)

[Gambar 3.7 Desain tampilan aplikasi 34](#_Toc471223561)

[Gambar 3.8 *Flowchart* langkah perhitungan utama 39](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223562)

[Gambar 3. 9 *Flowchart* subprogram perhitungan 1 40](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223563)

[Gambar 3. 10 *Flowchart* subprogram perhitungan 2 40](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223564)

[Gambar 3. 11 *Flowchart* subprogram perhitungan 3 41](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223565)

[Gambar 3.12 *Flowchart* subprogram perhitungan 4 41](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223566)

[Gambar 3.13 *Flowchart* subprogram perhitungan 5 42](file:///C:\Users\INSAN\IdeaProjects\crane\doc\Draft_Sidang%2020161230%20-%20747.docx#_Toc471223567)

[Gambar 4.1 Tampilan awal aplikasi 44](#_Toc471292744)

[Gambar 4.2 Input simulasi 44](#_Toc471292745)

[Gambar 4.3 Tampilan hasil perhitungan gaya geser 45](#_Toc471292746)

[Gambar 4.4 Tampilan hasil perhitungan gaya normal 46](#_Toc471292747)

[Gambar 4.5 Tampilan hasil perhitungan momen lentur 47](#_Toc471292748)

[Gambar 4.6 Tampilan hasil perhitungan tegangan normal 48](#_Toc471292749)

[Gambar 4.7 Tampilan hasil perhitungan tegangan normal akibat momen lentur 49](#_Toc471292750)

[Gambar 4.8 Tampilan hasil perhitungan tegangan geser 50](#_Toc471292751)

[Gambar 4.9 Tampilan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik 51](#_Toc471292752)

[Gambar 4.10 Tampilan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=0) 52](#_Toc471292753)

[Gambar 4.11 Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang crane dua tumpuan, massa jenis dihitung 54](#_Toc471292754)

[Gambar 4.12 Perbandingan hasil perhitungan gaya geser, massa jenis diabaikan 54](#_Toc471292755)

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*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-benda berat. Karena bentuk dan pembebanan yang diterimanya, *Crane* dapat menjadi salah satu model pembelajaran Teknik Mesin yang lengkap.

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian dan pembuatan aplikasi berbasis *web* oleh Aji Gumilar, dkk. Pada tahun 2014 tentang analisis pembebanan batang crane untuk beberapa kasus pembebanan yang dapat diakses di <http://crane.insanblog.com>. *Output* dari aplikasi tersebut adalah 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.

Sistem informasi berbasis *web* dipilih dalam pengembangan sistem informasi tersebut karena memiliki banyak kelebihan seperti, dapat diakses dari mana saja, dapat diakses kapan saja, dapat dibuka dari beragam sistem operasi dan beragam piranti, serta tidak memerlukan instalasi dapat langsung digunakan. Selain itu kebanyakan perangkat 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 dipasang *online* dalam sebuah komputer yang terhubung dengan internet, maupun *offline* di komputer yang tidak terhubung dengan internet.

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 dan perancangan 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 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 dibatasi 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.

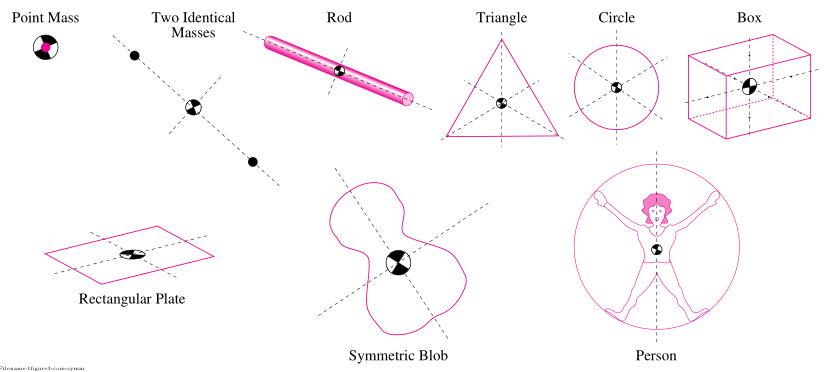
# 2. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Teori Dasar Mekanika

### 2.1.1 Pusat Massa dan Pusat Gravitsi

Pada setiap sistem untuk setiap waktu tertentu, terdapat lokasi unik pada ruang tiga dimensi dimana sistem itu berada, yang merupakan posisi rata-rata dari massa sistem. Lokasi itu disebut pusat massa. Pusat massa dicari dan dihitung karena dengan mengetahui keberadaan pusat massa dari sebuah sistem, dapat diketahui perilaku dari sistem tersebut ketika mengalami beragam kondisi. Banyak perhitungan kompleks mekanika dapat disederhanakan dengan mengetahui posisi pusat massa.

Ketika satu sistem berada dalam medan gravitasi, tiap partikel dalam sistem tersebut memiliki berat spesifik. Tiap berat spesifik partikel dalam satu sistem ini dapat direduksi menjadi satu resultan gaya yang bekerja pada satu titik tertentu. Resultan gaya ini disebut gaya berat sistem, dimana titik kerjanya disebut pusat gravitasi.



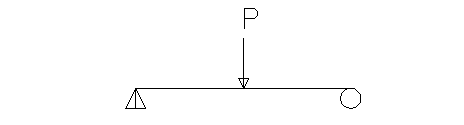
Gambar 2. 1 Contoh lokasi titik pusat massa beragam jenis benda

Sumber : (Ruina & Pratap, 2015)

### 2.1.2 Jenis Beban

Berdasarkan lokasi kerjanya, jenis beban dibagi menjadi :

1. **Beban terpusat**

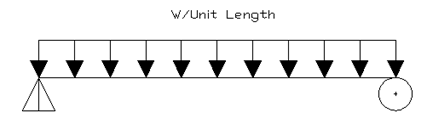


Gambar 2. Ilustrasi beban terpusat

Sumber : (Afsar, 2013)

Beban terpusat merupakan beban yang berlaku pada rentang jarak yang amat kecil sehingga dapat dianggap terjadi pada satu titik. Contoh beban terpusat adalah tali yang menggantung beban pada *crane*.

1. **Beban terdistribusi merata**

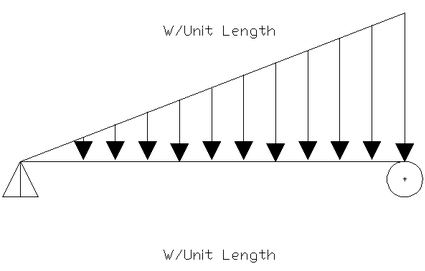


Gambar 2. Ilustrasi beban terdistribusi merata

Sumber : (Afsar, 2013)

Beban terdistribusi merata merupakan beban yang berlaku pada rentang jarak tertentu dimana besar bebannya seragam di sepanjang rentang jarak tersebut. Satuannya massa per unit panjang. Contoh beban terdistribusi adalah beban batang *crane* akibat pengaruh massa jenis.

1. **Beban terdistribusi tidak merata :**



Gambar 2. Ilustrasi beban terdistribusi tidak merata

Sumber : (Afsar, 2013)

Beban terdistribusi tidak merata merupakan beban yang berlaku pada rentang jarak tertentu dimana besar bebannya tidak seragam di sepanjang rentang jarak tersebut. Satuannya massa per unit panjang.

### 2.1.2 Gaya



F = m . a (2.1)

F = gaya (N)

m = massa (kg)

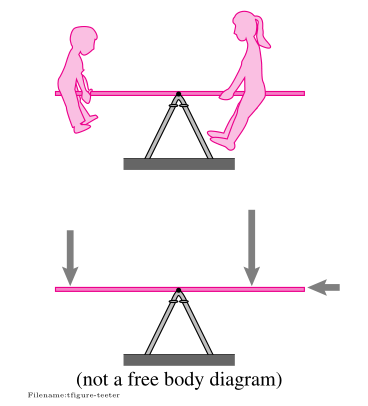
a = percepatan (m/s2)

Gambar 2. 5 Ilustrasi Hukum 1 Newton

(Shipway, 2008)

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).

### 2.1.3 Momen Lentur



Gambar 2. Ilustrasi momen lentur

(Ruina & Pratap, 2015)

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)

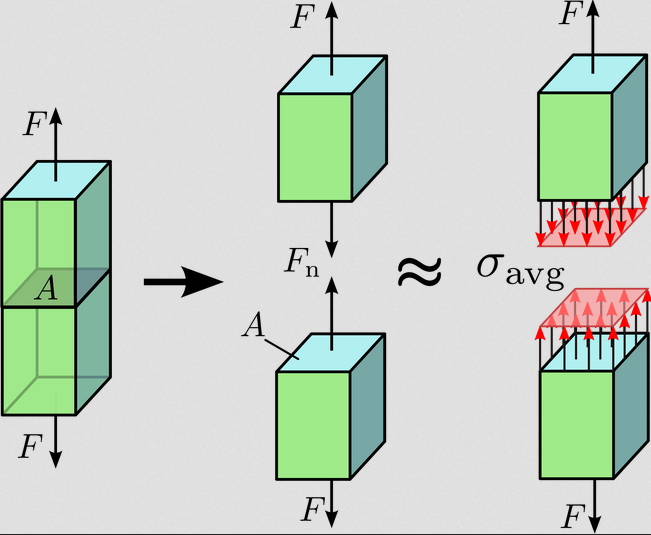
M = momen lentur (Nm)

F = gaya (N)

l = lengan beban (m)

### 2.1.4 Tegangan Normal

Tegangan normal adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya normal 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. Ketika gaya normal menarik luas permukaan maka disebut tegangan normal tarik. Ketika gaya normal menekan luas permukaan maka disebut tegangan normal tekan.



Gambar 2. 7 Ilustrasi tegangan normal

(Sanpaz, 2009)

σ = F / A (2.3)

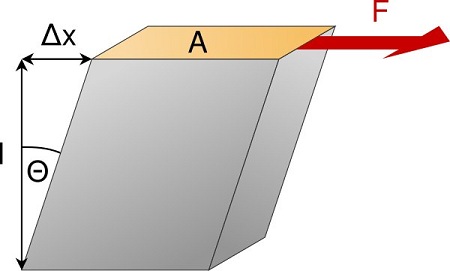
σ = tegangan normal (Pa)

F = gaya tarik / tekan (N)

A = luas permukaan (m2)

### 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. 8 Ilustrasi Tegangan Geser

Sumber : (Nipun, Difference Between Shear Stress and Tensile Stress, 2015)

τ = F / A (2.4)

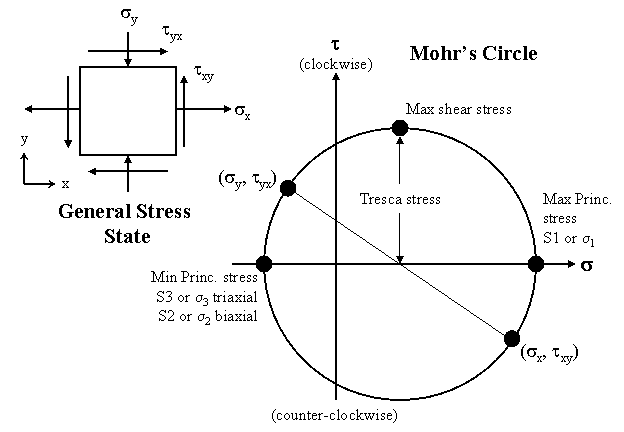
τ = tegangan geser (Pa)

F = gaya geser (N)

A = luas permukaan (m2)

### 2.1.6 Tegangan *Principal* Maksimum

Tegangan *principal* maksimum merupakan tegangan normal tertinggi yang dapat dialami oleh sebuah bidang. Tegangan *principal* maksimum pada sebuah mekanisme yang dikenai beban adalah salah satu parameter yang dibutuhkan untuk meninjau faktor keamanan mekanisme tersebut, karena tegangan *principal* maksimum dapat merepresentasikan tegangan tertinggi yang mungkin dialami oleh sistem. Tegangan maksimum pada sebuah mekanisme didapat dari hasil perhitungan dari tegangan-tegangan normal dan tegangan geser yang terjadi pada mekanisme tersebut. Besarnya tegangan maksimum (σmax) dapat dihitung dengan lingkaran *Mohr*.



Gambar 2. Lingkaran *Mohr*

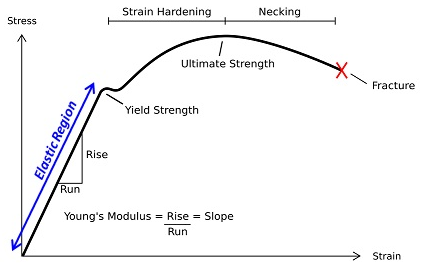
(Autodesk, Inc)

Lingkaran *Mohr* merupakan metode grafik untuk menunjukkan besar dari tegangan tegangan di tiap sudut bidang yang digambarkan dalam bentuk lingkaran dengan jari – jari R, dimana R merupakan tegangan geser maksimum bidang. Pada posisi tegangan *principal* maksimum, tegangan geser maksimumnya nol.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| R | = | (2.5) |
| σavg | **=** | (2.6) |
| σmax | = σavg + R | (2.7) |
|  |  |  |
| R | : Jari jari lingkaran mohr / tegangan geser maksimum |  |
| σavg | : Tegangan normal rata-rata |  |
| σmax | : Tegangan *principal* maksimum |  |

### 2.1.8 Tegangan *Yield* dan Tegangan *Tensile*

Tegangan *yield* merupakan tegangan yang mengakibatkan material berhenti bersifat elastis dan mulai mengalami deformasi plastis. Sedangkan tegangan *tensile* atau tegangan *ultimate* merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan material sebelum material tersebut patah.



Gambar 2. Kurva tegangan - regangan untuk material *ductile*

(Nipun, Difference Between Yield Strength and Tensile Strength, 2015)

### 2.1.7 Faktor Keamanan

Faktor kemanan merupakan 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 kerja yang terjadi (σw) , dimana σw yang diambil merupakan σmax.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Faktor keamanan (Sf) | = | (2.8) |

## 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 Tumpuan Jepit, dan Batang *Crane* Dengan Tali Baja.

### 2.2.2 Macam-Macam Tumpuan

Tumpuan pada batang *crane* berfungsi untuk menahan gerak ke arah tersebut. Pada tiga jenis kasus pembebanan dalam penelitian ini terdapat beberapa jenis tumpuan diantaranya tumpuan engsel, tumpuan rol, serta tumpuan jepit.



Gambar 2. Macam-macam tumpuan

Sumber : (Luebkeman, 1998)

**Tumpuan Rol *(Roller Support)***

Tumpuan Rol merupakan jenis tumpuan yang hanya mampu menahan gaya yang tegak lurus tumpuan. Pada tumpuan rol, terdapat satu gaya yang tidak diketahui.

**Tumpuan Engsel *(Pinned Support)***

Tumpuan Engsel merupakan jenis tumpuan yang mampu menahan gaya vertikal dan gaya horizontal. Pada tumpuan engsel, terdapat dua gaya yang tidak diketahui, yaitu gaya yang tegak lurus serta gaya yang sejajar tumpuan.



Gambar 2. Arah Gaya Reaksi pada tumpuan

Sumber : (Luebkeman, 1998)

**Tumpuan Jepit *(Fixed Support)***

Tumpuan Jepit merupakan jenis tumpuan yang mampu menahan gaya vertikal, gaya horizontal, serta momen lentur. Pada tumpuan jepit terdapat tiga yang tidak diketahui yaitu gaya tegak lurus tumpuan, gaya sejajar tumpuan, serta momen lentur yang terjadi pada tumpuan.

### 2.2.3 Batang *Crane* Dua Tumpuan



Gambar 2. 13 Ilustrasi Batang *Crane* Dua Tumpuan

Sumber : (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.*

### 2.2.4 Batang *Crane* Tumpuan Jepit

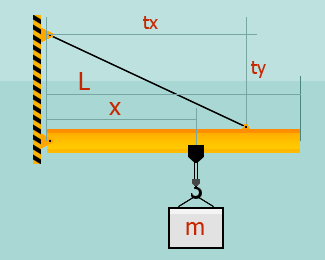


Gambar 2. 14 Ilustrasi Batang *Crane* Tumpuan Jepit

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

Merupakan *I-beam* Tumpuan Jepit 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*.*

### 2.2.5 Batang *Crane* Dengan Tali Baja



Gambar 2. Ilustrasi Batang *Crane* Dengan Tali Baja

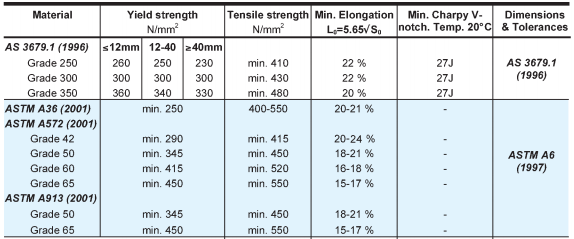
(Gumilar & Al-Amin, Simulasi Pembebanan Crane, 2014)

Merupakan *I-beam* yang ditumpu oleh tumpuan pin pada salah satu ujungnya, kemudian ditarik oleh tali baja pada sisi lainnya. 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 *crane* untuk industri dan perawatan gedung tinggi*.*

### 2.2.6 Material dan Penampang Batang *Crane*

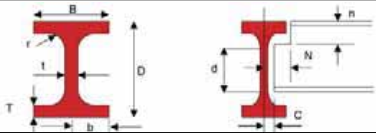
Material yang digunakan batang *crane* pada umumnya adalah baja, dimana terdapat beragam jenis baja dengan spesifikasi yang berbeda untuk dipilih. Jenis baja akan menentukan beberapa sifat dari batang tersebut seperti tegangan *yield*, tegangan *tensile*, elongasi minimum, hasil tes impak, toleransi, dan sebagainya.

Tabel 2. Contoh Standar Spesifikasi Batang *I-Beam*



(Continental Steel Pte Ltd, 2006)

Penampang *I-Beam* memiliki beberapa ukuran yang yang tertulis pada tabel profil penampang batang, diantaranya adalah lebar *beam* (B), tinggi *beam* (D), tebal *web* (t), tebal *flange* (T), luas area. Kelengkapan ukuran yang disediakan table profil penampang batang adalah beragam tergantung perusahaan yang menjual *beam* tersebut. Istilah penamaan yang dipergunakan pun berbeda-beda.



Gambar 2. Contoh Ilustrasi dan Simbolisasi Penampang *I-Beam*

(Continental Steel Pte Ltd, 2006)

## 2.3 Aplikasi Simulasi Analisis Pembebanan Pada Batang *Crane*

Aplikasi 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

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. 17 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. 18 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.

## 2.4 *Flowchart*

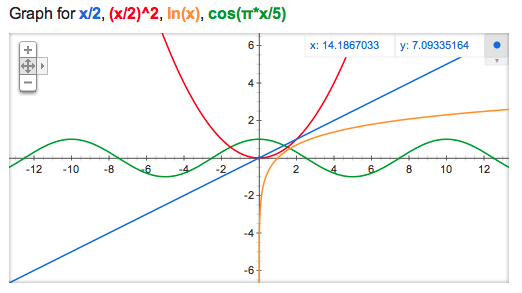
*Flowchart* merupakan diagram dengan bentuk geometris dan panah yang merepresentasikan alur sebuah proses dari awal hingga akhir. Dalam sebuah proses yang kompleks, simbol *flowchart Predefinied Process* digunakan untuk memecah proses menjadi subproses dan *Off Page Connector* digunakan untuk melanjutkan proses ke halaman lainnya.

Tabel 2. Macam-macam simbol *flowchart*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Simbol | Nama | Fungsi |
|  | *Terminator* | Menunjukkan awal mula dan akhir dari sebuah program. |
|  | *Arrow* | Lanjut ke proses berikutnya. |
|  | *Process* | Menunjukkan proses perhitungan, manipulasi data, atau pengerjaan. |
|  | *Input*/*Output* | Menunjukkan *input* ataupun output informasi. |
|  | *Decision* | Menujukkan perbandingan, pertanyaan, yang berujung pada sebuah keputusan dari pilihan yang diambil. |
|  | *Predefinied Process* / *Subroutine* | Menjalankan proses yang telah didefinisikan sebelumnya. |
|  | *Off Page Connector* | Proses berlanjut ke halaman lainnya |
|  | *Display* | Menunjukkan proses dimana data ditampilkan ke pengguna. |
|  | *Magnetic Disk* (*Database*) | Menunjukkan tempat penyimpanan data. |

## 2.5 Fungsi Matematika

Fungsi matematika merupakan hubungan satu kumpulan *input* terhadap satu kumpulan *output*, dimana untuk satu nilai *input* memiliki satu nilai *output*. *Output* yang dihasilkan disebut fungsi dari *input* , ditulis f(*input*) = *output*.



Gambar 2. Contoh beragam fungsi x terhadap y

Sumber : (CdrInfo, 2011)

Fungsi matematika biasa digunakan untuk penulisan rumus pada kasus dimana nilai *output* bergantung terhadap nilai *input* yang bermacam macam atau berubah ubah. Contohnya gaya berat sebagai fungsi dari massa, W(m) = m \* g.

Untuk fungsi yang memiliki lebih dari satu kondisi, maka digunakan notasi kurung kurawal untuk menjelaskan output fungsi di tiap kondisi. Contoh fungsi untuk membuat bilangan absolut , | x | :

Nilai |x| bergantung kepada posisi x. Ketika x < 0 maka |x| = - x , sedangkan ketika x 0 maka |x| = x.

# 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 aplikasi analisis tegangan dan kekuatan *crane* berbasis *web*

* Menentukan *input* dan *output*
* Menentukan desain tampilan aplikasi
* Memilih piranti pembuatan aplikasi
* Membuat model perhitungan
* Pembuatan aplikasi
* Pengujian aplikasi

Pengaruh massa jenis batang terhadap tegangan pada *crane*

Perbandingan jenis kasus pembebanan terhadap faktor keamanan

* Laporan Tugas Akhir
* Aplikasi 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 3.1 *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 3.2 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

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 ).

### 3.3.1 Simbol dan Penamaan

Tabel 3. Simbol dan Penamaan yang digunakan dalam perhitungan

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kategori** | **Simbol** | **Arti** | **Satuan** | **Simulasi Batang Crane** | | |
| **Dua Tumpuan** | **Tumpuan Jepit** | **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 |

Tabel 3.3 (Sambungan 1)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| Referensi | ⋅ | Simbol Kali. Berbeda dengan simbol titik, lokasi simbol kali lebih atas dari lokasi simbol titik. |  | v | v | v |
| Referensi | / | Simbol Bagi |  | v | v | V |
| Output | F | Gaya akibat massa beban | N | v | v | V |
| Output | R | Resultan Gaya akibat massa jenis batang | N | v | v | V |
| Output | Q | Momen Area 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 |

Tabel 3.3 (Sambungan 2)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |

Tabel 3. 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. |

### 3.3.2 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. Beban terdistribusi yang ada pada batang berasal dari massa per satuan panjang tersebut dengan asumsi terdistribusi merata.

### 3.3.3 Pembagian 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 ).



Gambar 3. Ilustrasi pembagian titik nodal pada batang

Tujuan pembagian titik nodal adalah untuk mendapatkan gaya, momen lentur, dan tegangan di setiap lokasi. Perhitungan akan dilakukan secara iteratif , dimulai dari i = 0 hingga i = L. Beberapa rumus dalam perhitungan menggunakan fungsi matematika dimana nilai fungsi berubah terhadap jarak, f(i).

Pembagian titik nodal :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| n | = 200 | (3.1) |
| ∆i | = L / n | (3.2) |
| i | = 0 , (1⋅∆i) , (2⋅∆i) , (3⋅∆i) , ... , (200⋅∆i) , x , Lty | (3.3) |

### 3.3.4 Perhitungan Awal dan Pendefinisian Fungsi Awal

Pada tahap ini dihitung Gaya akibat massa beban (F), Resultan Gaya akibat massa jenis batang (R), Momen Area Pertama (Q), lalu didefinisikan fungsi Gaya akibat massa beban di setiap i (F(i)), dan Resultan Gaya akibat massa jenis batang di setiap i (R(i)).

1. Gaya akibat massa beban (F) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| F | = m ⋅ g | (3.4) |

1. Resultan Gaya akibat massa jenis batang (R) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| R | = W0 ⋅ L ⋅ g | (3.5) |

1. Momen Area Pertama (Q) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | = ((h– (tflange/2)) ⋅ b ⋅ tflange) | (3.6) |
|  | = (((h/2) – tflange)/2 ⋅ tweb ⋅ ((h/2) – tflange)) | (3.7) |
| Q | =  = + | (3.8) |

1. Fungsi Gaya akibat massa beban di setiap i (F(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| F(i) |  | (3.9) |

1. Resultan Gaya akibat massa jenis batang di setiap i (R(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| R | = W0 ⋅ i ⋅ g | (3.10) |

### 3.3.5 Batang Crane Dua Tumpuan

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

1. Diagram Benda Bebas Batang :



Gambar 3.2 D.B.B. batang *crane* dua tumpuan

1. Perhitungan gaya-gaya reaksi di tumpuan :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fy | = 0 N | (3.11) |
| **Ay** | **= R + F – By** | (3.12) |
| ∑Fx | = 0 N | (3.13) |
| **Ax** | **= 0 N** | (3.14) |
| ∑MA | = 0 N | (3.15) |
| **By** | **= +** | (3.16) |

1. Diagram Benda Bebas di tiap posisi i :

i

N(i)

M(i)

Ay

Ax

V(i)

R(i)

F(i)

Gambar 3. D.B.B. gaya-gaya dalam di tiap posisi i pada *crane* dua tumpuan

1. Gaya Normal Dalam di tiap posisi i (N(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fx | = 0 N |  |
| N(i) | = - Ax |  |
| **N(i)** | **= 0 N** | (3.17) |

1. Gaya Geser Dalam di tiap posisi i (V(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fy | = 0 N |  |
| **V(i)** | **= Ay – R(i) – F(i)** | (3.18) |

1. Momen Lentur Dalam di tiap posisi i (M(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Mi | = 0 N | (3.19) |
| **M(i)** | **= (Ay ⋅ i) – – (F(i) ⋅ (i – x))** | (3.20) |

### 3.3.4 Batang Crane Tumpuan Jepit

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

1. Diagram Benda Bebas :



Gambar 3.4 D.B.B. batang *crane* tumpuan jepit

1. Perhitungan gaya-gaya reaksi di tumpuan :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fy | = 0 N |  |
| **Ay** | **= R + F** | (3.21) |
| ∑Fx | = 0 N |  |
| **Ax** | **= 0 N** | (3.22) |
| ∑MA | = 0 N |  |
| **MA** | **= ( + (F ⋅ x))** | (3.23) |

1. Diagram Benda Bebas di tiap posisi i :

i

N(i)

M(i)

Ay

Ax

V(i)

R(i)

F(i)

MA

Gambar 3. D.B.B. gaya-gaya dalam di tiap posisi i pada *crane* tumpuan jepit

1. Gaya Normal Dalam di tiap posisi i (N(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fx | = 0 N |  |
| N(i) | = - Ax |  |
| **N(i)** | **= 0 N** | (3.24) |

1. Gaya Geser Dalam di tiap posisi i (V(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fy | = 0 N |  |
| **V(i)** | **= Ay – R(i) – F(i)** | (3.25) |

1. Momen Lentur Dalam di tiap posisi i (M(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Mi | = 0 N | (3.26) |
| **M(i)** | **= (Ay ⋅ i) – – (F(i) ⋅ (i – x)) + MA** | (3.27) |

### 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 3.6 D.B.B. batang *crane* dengan tali baja

1. Perhitungan gaya-gaya reaksi di tumpuan :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fy | = 0 N |  |
| **ty** | **= –** | (3.28) |
| **Ay** | **= R + F + ty** | (3.29) |
|  |  |  |
| ∑Fx | = 0 N |  |
| **tx** | **= ty ⋅** | (3.30) |
| **Ax** | **= tx** | (3.31) |

1. Diagram Benda Bebas di tiap posisi i :

i

N(i)

M(i)

Ay

Ax

V(i)

R(i)

F(i)

tx(i)

ty(i)

Gambar 3. D.B.B. gaya-gaya dalam di tiap posisi i pada *crane* dengan tali baja

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **tx(i)** | **=** | (3.32) |
| **ty(i)** | **=** | (3.33) |

1. Gaya Normal Dalam di tiap posisi i (N(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fx | = 0 N |  |
| **N(i)** | **= tx(i) – Ax** | (3.34) |

1. Gaya Geser Dalam di tiap posisi i (V(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Fy | = 0 N |  |
| **V(i)** | **= Ay – R(i) – F(i) – ty(i)** | (3.18) |

1. Momen Lentur Dalam di tiap posisi i (M(i)) :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∑Mi | = 0 N | (3.35) |
| **M(i)** | **= (Ay ⋅ i) – – (F(i) ⋅ (i – x)) – (ty(i) ⋅ (i – Ltx))** | (3.36) |
|  |  |  |

### 3.3.6 Perhitungan Tegangan

Tegangan Principal Maksimum Tarik dihitung di lokasi ujung ( c = y ) dan tengah ( c = 0 ) penampang.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **σ(i)** | **= . 10000** | (3.37) |
| **σM(i)** | **= . 100000** | (3.38) |
| **τ(i)** | **= . 100** | (3.39) |
|  |  |  |
| **σmax (c=y)(i)** | **= +** | (3.40) |
| **σmax (c=0)(i)** | **= +** | (3.41) |
| **σmax all** | **= max(σmax (c=y) , σmax (c=0))** | (3.42) |

### 3.3.7 Perhitungan Faktor Keamanan

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sf** | **=** | (3.43) |

## 3.4 Pembuatan Aplikasi

### 3.4.1 Menentukan Input dan Output Perhitungan Dari Aplikasi

**Input :**

1. Jenis Simulasi
2. Jenis Material
3. Jenis Penampang
4. Panjang Batang (L)
5. Lokasi Beban (x)
6. Massa Beban (m)
7. Ltx
8. Lty

**Output :**

1. Diagram Gaya Geser
2. Diagram Gaya Normal
3. Diagram Momen Lentur
4. Diagram Tegangan Normal
5. Diagram Tegangan Normal Bending
6. Diagram Tegangan Geser
7. Diagram Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang
8. Diagram Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Tengah Penampang
9. Tegangan Principal Maksimum Tarik tertinggi dari seluruh titik nodal
10. Faktor Keamanan

### 3.4.2 Menentukan Desain Tampilan Aplikasi

Setelah *input* dan *output* ditentukan, selanjutnya adalah pembuatan desain tampilan dari aplikasi yang akan ditampilkan ke pengguna aplikasi.



Gambar 3. Desain tampilan aplikasi

Bagian *input* diletakkan di sebelah kiri dimana pengguna akan memilih jenis simulasi terlebih dahulu. Setelah itu ditambahkan kotak pilihan jenis material dan jenis penampang. Kemudian kotak *input* panjang batang, lokasi beban, dan massa beban. Lalu tombol untuk mulai menjalankan simulasi.

Pada bagian kanan diletakan bagian hasil simulasi yang didalamnya akan menampilkan angka dan grafik hasil perhitungan. Pada hasil simulasi diperlihatkan nilai hasil perhitungan faktor keamanan dan σ*max all* dengan kondisi massa jenis dihitung dan massa jenis diabaikan. Kemudian dibawahnya pilihan untuk melihat grafik dari gaya-gaya, momen, dan tegangan-tegangan yang terjadi.

### 3.4.3 Memilih Piranti Pembuatan Aplikasi

**1. Piranti Keras Dan Sistem Operasi**

Aplikasi simulasi ini akan dibuat *online* berbasis *web* untuk dapat dibuka dengan menggunakan *web browser*. Keuntungan membuat aplikasi simulasi berbasis *web online* diantaranya :

1. Dapat di akses dari mana saja. Sehingga mudah untuk melakukan koreksi dan pengujian oleh berbagai pihak dari berbagai tempat.
2. Dapat di akses kapan saja. Karena aplikasi simulasi tersimpan di *server* yang online selama 24 jam, maka pihak penguji bisa menguji aplikasi kapan saja.
3. Web dapat di akses dari berbagai piranti seperti *PC*, *laptop*, *tablet* maupun *smartphone* dengan menggunakan *web browser* seperti *Modzilla Firefox*, *Google Chrome* atau *TOR*.
4. 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.
5. Satu penulisan pemrograman untuk berbagai piranti. Karena berbasis *web*, maka untuk beragam sistem operasi maupun piranti bahasa pemrograman yang digunakan sama.
6. *Server* dapat di *install offline* untuk *PC* dan *laptop* yang tidak memiliki koneksi internet.

**2. *Server***

Aplikasi 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*.

Pada pembuatan aplikasi ini *server* yang digunakan adalah *Jetty.* Alasan penggunaan *Jetty* sebagai *web server* untuk aplikasi simulasi ini adalah :

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

**3. Bahasa Pemrograman**

Pada pembuatan aplikasi 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 aplikasi simulasi ini adalah *Java*. *Java* merupakan bahasa pemrograman berorientasi objek yang banyak digunakan di berbagai bidang seperti aplikasi *desktop*, aplikasi *android*, *web*, hingga *microcontroller* dan robotika.

Alasan penggunaan *Java* sebagai bahasa pemrograman untuk aplikasi simulasi ini adalah :

1. Gratis. *Java* menggunakan lisensi open source sehingga dapat diunduh dan digunakan gratis.
2. Model perhitungan simulasi dapat digunakan di beragam platform baik *desktop*, *mobile*, maupun *web*.
3. Portabel, dapat dijalankan di beragam sistem informasi seperti *Windows*, *Linux*, maupun *MacOS*
4. Memiliki pengevaluasi *error* yang baik sehingga memudahkan dalam pencarian kesalahan pemrograman.
5. Memiliki *library* yang banyak untuk menyelesaikan berbagai persoalan termasuk persoalan-persoalan terkait keteknikan.
6. Lazim digunakan pada bidang yang berhubungan erat dengan keilmuan teknik mesin seperti untuk simulasi perhitungan teknik, *finite element method*, *microcontroller*, automasi industri, dan robotika.

**4. *Database***

Pada pembuatan aplikasi, *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*. *Database* lain selain *MySQL* diantaranya *Oracle*, *PostgreSQL*, *SQLite*, dan *MongoDB*.

Alasan penggunaan *MySQL* sebagai database untuk software simulasi ini adalah :

1. Gratis. *MySQL* menggunakan lisensi *open source* sehingga dapat diunduh dan digunakan gratis.
2. Dapat digunakan di beragam sistem informasi seperti *Linux*, *Windows* dan *MacOS*
3. Terintegrasi dengan baik dengan *Java*.
4. Memiliki sumber pembelajaran terbanyak di internet sehingga lebih mudah dalam mempelajarinya.

**5. Tampilan**

Pada pembuatan aplikasi ini, bahasa client digunakan sebagai perangkat untuk membuat tampilan dan konten untuk ditampilkan bagi pengguna aplikasi ( *client* ) melalui *web browser*. Tampilan di sini termasuk di dalamnya isi, bentuk tampilan aplikasi, 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 :

1. *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.

1. *CSS* ( *Cascading Style Sheet* ) :

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

1. *Javascript* :

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

### 3.4.4 Membuat Model Perhitungan

Mulai

Input :

Jenis Simulasi[ 1 = Dua Penyangga,

2 = Tumpuan Jepit, 3 = Tali Baja ], Jenis Material, Jenis Penampang, L, x, m, Ltx ,Lty

Ambil : Data Material, Data Penampang

Database

Material

Database

Penampang

**Perhitungan 1**

Menghitung F, R, q

**Perhitungan 3**

Bagi L menjadi 200 titik nodal : i

**Perhitungan 2**

Menghitung

Simulasi 1 : Ax, Ay, By

Simulasi 2 : Ax, Ay, MA,

Simulasi 3 : Ax, Ay, tx, ty

**Perhitungan 4**

Menghitung V(i) , N(i) , M(i)

**Perhitungan 5**

Menghitung σ(i) , σM(i) , τ(i) , σmax (c=y)(i) , σmax (c=0)(i) , σmax all  , Sf

Menampilkan nilai : σmax all , Sf

Menampilkan grafik : V(i) , N(i) , M(i) , σ(i) , σM(i) , τ(i) , σmax (c=y)(i) , σmax (c=0)(i) ,

Selesai

Gambar 3. *Flowchart* langkah perhitungan utama

**Perhitungan 1 :**

Mulai

**F** = m ⋅ g

**R** = W0 ⋅ L ⋅ g

**q** = ((h – (tflange / 2)) ⋅ b ⋅ tflange) +

(((h/2) – tflange)/2 ⋅ tweb \* ((h/2) – tflange))

Selesai

Gambar 3. *Flowchart* subprogram perhitungan 1

**Perhitungan 2 :**

Mulai

Jenis Simulasi ?

**Ax** = 0

**By** = (R / 2) + ((F ⋅ x) / L)

**Ay** = R + F – By

**Ax** = 0

**Ay** = R + F

**MA** = – ((R ⋅ L / 2) + (F ⋅ x))

**ty** = – ((R ⋅ L / 2) + (F ⋅ x)) / Ltx

**tx** = ty ⋅ Ltx / Lty

**Ax** = tx

**Ay** = R + F + ty

Selesai

1

2

3

Gambar 3. *Flowchart* subprogram perhitungan 2

**Perhitungan 3 :**

Gambar 3. *Flowchart* subprogram perhitungan 3

Mulai

∆i = L / 200

i = 0 , (1⋅∆i) , (2⋅∆i) , (3⋅∆i) , ... , (200⋅∆i) , x , Lty

Selesai

**Perhitungan 4 :**

Mulai

Jenis Simulasi ?

**V(i)** = Ay – R(i) – F(i)

**N(i)** = 0

**M(i)** = (Ay ⋅ i) – ( R(i) ⋅ i / 2 ) – ( F(i) ⋅ (i – x) )

**V(i)** = Ay – R(i) – F(i)

**N(i)** = 0

**M(i)** = (Ay ⋅ i) – ( R(i) ⋅ i / 2 ) – ( F(i) ⋅ (i – x) ) + MA

**V(i)** = Ay – R(i) – F(i) – ty(i)

**N(i)** = tx(i) – Ax

**M(i)** = (Ay ⋅ i) – ( R(i) ⋅ i / 2 ) – ( F(i) ⋅ (i – x) ) – ( ty(i) ⋅ (i – Ltx) )

Selesai

1

2

3

**R(i)** = W0 ⋅ i ⋅ g

Gambar 3. *Flowchart* subprogram perhitungan 4

**Perhitungan 5 :**

Gambar 3. *Flowchart* subprogram perhitungan 5

σ(i) = . 10000

σM(i) = . 100000

τ(i) = . 100

σmax (c=y)(i) = +

σmax (c=0)(i) = +

σmax all  = max(σmax (c=y) , σmax (c=0))

Sf =

Mulai

Selesai

### 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.

Tabel 3. Pengujian aplikasi dengan hasil hitung manual

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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, maka dibandingkan antara hasil perhitungan manual, dengan perhitungan menggunakan software simulasi. Kemudian dibandingkan antara hasil perhitungan yang tidak menggunakan massa jenis, dengan hasil perhitungan yang telah memasukan pengaruh massa jenis.

Yang dibandingkan pengaruhnya adalah pengaruh massa jenis batang terhadap nilai rata-rata tegangan *principal* maksimum tarik posisi ujung batang, dan Faktor Keamanan. Beban yang dipilih terdiri atas enam beban yaitu beban 1, 10, 100, 1000, 10000, 100000 kg.

Tabel 3. Perhitungan pengaruh massa jenis

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa (kg)** | **Nilai Rata-Rata** | | **Perbedaan Nilai Rata-Rata** |
| **Massa jenis dihitung** | **Massa jenis diabaikan** |
| 1 |  |  |  |
| 10 |  |  |  |
| 100 |  |  |  |
| 1000 |  |  |  |
| 10000 |  |  |  |
| 100000 |  |  |  |

# 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.

Gambar 4. Tampilan awal aplikasi



Gambar 4. Input simulasi



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan gaya geser



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan gaya normal



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan momen lentur



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan tegangan normal



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan tegangan normal akibat momen lentur



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan tegangan geser



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik

(c = y)



Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=0)

## 4.2 Pengujian Hasil Perhitungan Aplikasi

Dalam pengujian hasil perhitungan aplikasi ini dimasukan input sebagai berikut :

Tabel 4. Input pengujian

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Input | Jenis Simulasi | | |
| Dua Penyangga | Tumpuan Jepit | 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 :

Tabel 4. Data material dan penampang pengujian

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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) :**

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya normal di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya normal di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan momen lentur di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan momen lentur di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal momen lentur di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal momen lentur di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan geser di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=y) di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=y) di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=0) di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=0) di batang *crane* dua tumpuan, massa jenis diabaikan

**Faktor Keamanan :**

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan faktor keamanan pada *crane* dua tumpuan

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Massa Jenis Dihitung** | | | **Massa Jenis Diabaikan** | | |
| **Aplikasi** | **Manual** | **Selisih** | **Aplikasi** | **Manual** | **Selisih** |
| 3.489 | 3.489 | 0 | 9.933 | 9.933 | 0 |

### 4.2.2 Batang *Crane* Tumpuan Jepit

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya normal di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya normal di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan momen lentur di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan momen lentur di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal momen lentur di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan normal momen lentur di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan geser di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan geser di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan *principal* maksimum tarik (c=y) di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan principal maksimum tarik (c=y) di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan principal maksimum tarik (c=0) di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan tegangan principal maksimum tarik (c=0) di batang *crane* tumpuan jepit, massa jenis diabaikan

**Safety Factor :**

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan faktor keamanan pada crane tumpuan jepit

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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) :**

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* dengan tali baja, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* dengan tali baja, massa jenis diabaikan

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

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya normal di batang *crane* dengan tali baja, massa jenis dihitung

Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan gaya geser di batang *crane* dengan tali baja, massa jenis diabaikan

**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 |
| 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 | Tumpuan Jepit | 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

**Nilai Rata-rata Tegangan Principal Maksimum Tarik Posisi Ujung Penampang Batang (c=y)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa (kg)** | **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 (kg)** | **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 Tumpuan Jepit

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

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Massa (kg)** | **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 (kg)** | **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 (kg)** | **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 (kg)** | **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 (kg) | 1 | 100 | 10000 | 1 | 100 | 10000 |
| Dua Tumpuan | 5.158 | 4.646 | 0.370 | 3973.169 | 39.732 | 0.397 |
| Tumpuan Jepit | 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. Aplikasi analisis tegangan pada *crane* telah dapat menghasilkan output berupa grafik tegangan, faktor keamanan, serta mampu menunjukka pengaruh massa jenis batang terhadap tegangan yang terjadi pada beberapa kasus pembebanan *crane*.
2. Aplikasi analisis tegangan pada *crane* telah diuji secara manual dan menghasilkan nilai yang sama antara perhitungan dengan aplikasi maupun perhitungan secara manual.
3. Pada pengujian dengan massa beban 1 kg diperoleh perbedaan rata-rata tegangan principal maksimum yang besar ( di atas 99 % ) antara nilai massa jenis batang dihitung, dan ketika nilai massa jenis batang diabaikan.
4. Pada pengujian dengan massa beban 100000 kg diperoleh perbedaan rata-rata tegangan principal maksimum yang kecil ( di bawah 1.5 % ) antara nilai massa jenis batang dihitung, dan ketika nilai massa jenis batang diabaikan.
5. Massa jenis batang crane tidak dapat diabaikan ketika massa beban sangat kecil karena jika diabaikan selisih nilai rata-rata gaya, tegangan, dan faktor keamanannya sangat besar.
6. Kasus pembebanan *crane* dengan tali baja menghasilkan output faktor keamanan tertinggi dibandingkan kasus pembebanan lainnya.

## 5.2 Saran

1. Diperlukan pengujian yang lebih banyak dengan beragam nilai input aplikasi untuk mendapatkan hubungan yang lebih terukur dari pengaruh massa jenis batang *crane*.

# DAFTAR PUSTAKA

Afsar, J. (2013, November 17). *Types of Load*. Diambil kembali dari Engineering Intro: http://www.engineeringintro.com/mechanics-of-structures/sfd-bmd/types-of-load/

Autodesk, Inc. (t.thn.). *Mohr's Circle*. Dipetik 2016, dari Autodesk.com: http://download.autodesk.com/us/algor/userguides/mergedProjects/Results/results\_environment/results/Mohrs\_Circle.htm

Bartle, R. G. (1964). *The Elements of Real Analysis.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

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

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2010). *Materials Science And Engineering An Introduction.* Wiley.

CdrInfo. (2011, Desember 6). *Google Search Plots Mathematical Functions*. Diambil kembali dari CdrInfo: http://www.cdrinfo.com/Sections/News/Details.aspx?NewsId=31810

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2009). *Numerical Methods for Engineers.* McGraw-Hill.

Continental Steel Pte Ltd. (2006). *Product Handbook Structural Steel 2006 Edition.* Singapore: Continental Steel Pte Ltd.

Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metallurgy.* McGraw-Hill Book Company.

Gumilar, A., & Al-Amin, M. I. (2014). *Simulasi Pembebanan Crane*. Diambil kembali dari 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.

Hebb, N. (t.thn.). *Flowchart Symbols Defined: Business Process Map and Flow Chart Symbols and their Meanings*. Dipetik 12 25, 2016, dari BreezeTree Software: http://www.breezetree.com/article-excel-flowchart-shapes.htm

Hibbeler, R. C. (2010). *Engineering Mechanics : Statics.* Prentice Hall, Inc.

Hibbeler, R. C. (2011). *Mechanics Of Materials.* Prentice Hall.

Luebkeman, C. H. (1998). *Support and Connection Types*. Dipetik 12 25, 2016, dari Massachusetts Institute of Technology: http://web.mit.edu/4.441/1\_lectures/1\_lecture13/1\_lecture13.html

Nipun. (2015). *Difference Between Shear Stress and Tensile Stress*. Diambil kembali dari Pediaa: http://pediaa.com/difference-between-shear-stress-and-tensile-stress/

Nipun. (2015, Oktober 14). *Difference Between Yield Strength and Tensile Strength*. Diambil kembali dari Pediaa: http://pediaa.com/difference-between-yield-strength-and-tensile-strength/

Ruina, A., & Pratap, R. (2015). *Introduction to Statics and Dynamics.* Oxford University Press.

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

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

Shiva. (2015). *Normal and Shear Stresses*. Diambil kembali dari semesters.in: http://semesters.in/normal-and-shear-stresses/

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 Tumpuan Jepit

**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 |