

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR GABLE FRAME
DENGAN BAJA CASTELLA (HONEY COMB) PADA BANGUNAN
GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN**

TUGAS AKHIR

**Disusun dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang**

**Disusun Oleh :
RITO ARMAN MUZAQI
NIM. 1921183**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2023

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME*
DENGAN BAJA *CASTELLA (HONEY COMB)* PADA BANGUNAN
GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN**

TUGAS AKHIR

**Disusun dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang**

Disusun Oleh :
RITO ARMAN MUZAQI
NIM. 1921183



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2023

LEMBAR PERSETUJUAN

**“STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME*
DENGAN BAJA *CASTELLA (HONEY COMB)* PADA BANGUNAN
GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN”**

*Disusun Dan Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

RITO ARMAN MUZAQI

1921183

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.

NIP. P. 1030300383

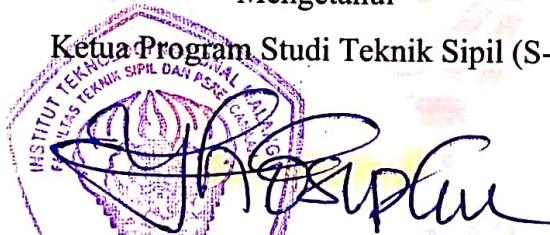


Ir. Ester Priskasari, MT.

NIP. Y. 1039400265

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil (S-1)



Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.

NIP. P. 1030300383

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

“STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME* DENGAN BAJA *CASTELLA (HONEY COMB)* PADA BANGUNAN GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN”

Tugas Akhir Ini Telah Dipertahankan Di Depan Dosen Pembahas Ujian Tugas Akhir Jenjang Strata S-1 Pada Tanggal 08 September 2023 Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Gelar Sarjana Teknik S-1.

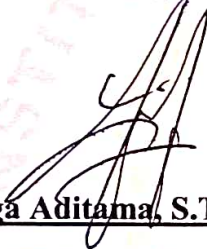
Disusun Oleh :

RITO ARMAN MUZAQI

1921183

Dosen Penguji,

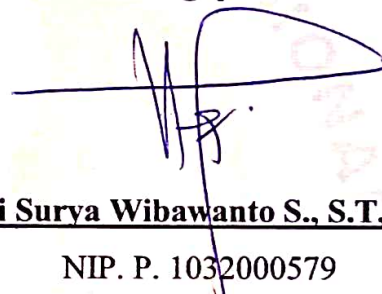
Penguji I



Vega Aditama, S.T., M.T.

NIP.P. 1031900559

Penguji II



Hadi Surya Wibawanto S., S.T, M.T.

NIP. P. 1032000579

Disahkan Oleh :

Ketua Program Studi

Teknik Sipil S-1

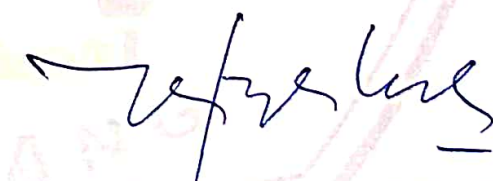


Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.

NIP. P. 1030300383

Sekretaris Program Studi

Teknik Sipil S-1



Nenny Roostrianawaty., S.T., M.T.

NIP. P. 1031700533

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG**

2023

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmatNya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam penyusunan tugas akhir ini, dengan judul “STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME* DENGAN BAJA *CASTELLA (HONEY COMB)* PADA BANGUNAN GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN”.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, ucapan tersebut ditujukan kepada :

1. Awan Uji Krismanto, ST., MT., PhD selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Dr. Debby Budi Susanti, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
3. Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
4. Nenny Roostrianawaty, ST., MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil.
5. Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
6. Ir. Ester Priskasari, MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Malang, September 2023

Penulis

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rito Arman Muzaqi
NIM : 19.21.183
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP)

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul :

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME* DENGAN BAJA *CASTELLA (HONEY COMB)* PADA BANGUNAN GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN

Adalah sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia TUGAS AKHIR ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (SARJANA) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70)

Malang, September 2023

Yang membuat pernyataan



Rito Arman Muzaqi

19.21.183

LEMBAR PERSEMBAHAN

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dukungan, doa serta bantuan baik moril maupun materil berbagai pihak, oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut membantu penyelesaian skripsi ini.

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga atas kasih sayang, doa, dukungan dan motivasinya, khususnya kepada ibu saya Alm. Ibu Mistin.
2. Bapak Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT., dan Ibu Ir. Ester Priskasari, MT. selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas kesabaran, waktu, ilmu pengarahan dan motivasi yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini. Penulis mohon maaf atas segala perbuatan maupun ucapan yang kurang berkenan selama proses bimbingan.
3. Bapak Vega Aditama, ST., MT. dan Bapak Hadi Surya Wibawanto Sunarwadi, ST., MT. selaku dosen penguji.
4. Bapak Mohammad Erfan, ST., MT., selaku dosen wali.
5. Segenap jajarman dosen Prodi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
6. Ny. Yukrista Megania Orissa, ST. selaku support system dalam penulisan dan kesuksesan skripsi ini. Serta dalam tahapan proses kehidupan selanjutnya.
7. Teman-teman Healing club atas semangat, motivasi dan bantuan selama ini.

Rito Arman Muzaqi, 1921183.2023. **STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME* DENGAN BAJA *CASTELLA (HONEY COMB)* PADA BANGUNAN GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN.**

Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Pembimbing I : Dr. Yosimson P. Manaha, S.T., M.T.

Pembimbing II : Ir. Ester Priskasari, M.T.

ABSTRAK

Semakin maraknya bisnis pergudangan, mendorong para investor atau owner untuk dapat mengembangkan usahanya dengan cepat yang membutuhkan suatu gudang yang tidak memiliki efektifitas untuk kegiatan pergudangan yang memadai. Diharapkan dengan menggunakan sistem balok baja castella mampu menambahkan kekakuan pada balok sehingga dapat memikul beban dengan bentang yang lebih besar. Dengan portal gable frame yang memiliki bentang lebih besar dapat memaksimalkan kebutuhan ruang untuk gudang dalam kegiatan bongkar muat barang. selain itu balok castella dipilih sebagai alternatif diharapkan dapat memperoleh momen kapasitas yang lebih besar dari pada profil H atau WF yang digunakan pada struktur bangunan eksisting. Dalam perencanaan ini analisis dengan menggunakan metode LRFD, kemudian untuk analisa pembebanan yang telah dihitung dianalisa dengan program bantu CSI ETABS untuk medapatkan nilai-nilai momen, gaya lintang, dan gaya normal. Sehingga menghasilkan perhitungan struktur dan gambar perencanaan. Dari hasil perencanaan tersebut, profil baja yang digunakan untuk kolom adalah WF 400.400.13.21 , dan untuk balok digunakan baja castella adalah 600.200.8.13, dengan menggunakan profil awal berukuran WF 400.200.8.13. Didukung dengan struktur bawah Kolom Pedestal berukuran 500 x 500, Balok Sloof berukuran 350 x 500 , Pile cap berukuran 1500 x 1000 x 400 dengan kedalaman 1,0 m, dan Tiang Pancang (minipile) precast berukuran 250x250 dengan kedalaman 9,0 m.

Kata kunci : Wide Flange (WF), Castella, Gudang, Gable Frame, LRFD.

Rito Arman Muzaqi, 1921183.2023. **ALTERNATIVE STUDY OF GABLE FRAME STRUCTURE PLANNING WITH CASTELLA STEEL (HONEYCOMB) FOR A PLASTIC FACTORY WAREHOUSE IN PASURUAN CITY.** Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Pembimbing I : Dr. Yosimson P. Manaha, S.T., M.T.

Pembimbing II : Ir. Ester Priskasari, M.T.

ABSTRACT

With the increasing prominence of warehouse businesses, it urges investors or owners to rapidly expand their operations, requiring a warehouse that possesses adequate efficiency for warehousing activities. It is anticipated that by employing the Castella steel beam system, rigidity can be added to the beams, enabling them to bear greater spans. Through the employment of a portal gable frame with a larger span, it becomes possible to maximize the spatial requirements for warehouse activities such as loading and unloading of goods. Furthermore, the Castella beams are chosen as an alternative, aiming to attain a higher load-bearing capacity compared to H or WF profiles used in existing building structures. In this planning, analysis is conducted using the LRFD method. Additionally, for load analysis, the calculated values are assessed using the CSI ETABS software to obtain values for moments, lateral forces, and axial forces. This process leads to the derivation of structural calculations and planning drawings. From the outcomes of this planning, the steel profiles used for columns are WF 400.400.13.21, and for beams, Castella steel 600.200.8.13 is utilized, with an initial profile size of WF 400.200.8.13. Supported by the substructure, the column pedestal measures 500 x 500, the tie beam measures 350 x 500, the pile cap measures 1500 x 1000 x 400 with a depth of 1.0 m, and the precast mini-piles have dimensions of 250x250 with a depth of 9.0 m.

Keywords: Castella, Gable Frame, LRFD, Warehouse, Wide Flange (WF).

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PERSETUJUAN | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | iv |
| LEMBAR PERSEMBAHAN | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| DAFTAR NOTASI..... | xix |
| DAFTAR PERSAMAAN..... | xxii |
| ABSTRAK | xxx |
| ABSTRACT | xxxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 2 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.4 Maksud dan Tujuan Studi | 3 |
| 1.5 Manfaat Studi | 3 |
| 1.6 Batasan Masalah..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Studi Terdahulu | 5 |
| 2.2 Tinjauan Umum | 6 |
| 2.3 Pembebanan Struktur | 7 |
| 2.3.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i>)..... | 7 |
| 2.3.2. Beban Hidup (<i>Live Load</i>) | 7 |
| 2.3.3. Beban Air Hujan..... | 8 |
| 2.3.4. Beban Angin..... | 9 |
| 2.3.5. Beban Gempa | 10 |
| 2.3.6. Kombinasi Beban | 10 |

| | |
|---|----|
| 2.4 Gording dan Trekstang..... | 11 |
| 2.4.1. Perencanaan Gording | 11 |
| 2.4.2. Perencanaan dimensi trekstang..... | 14 |
| 2.5 Ikatan Angin Atap dan Ikatan Angin Dinding | 16 |
| 2.5.1. Perencanaan Ikatan Angin Atap | 16 |
| 2.6 Rafter Baja Castella..... | 18 |
| 2.6.1. Lentur <i>Vierendeel</i> | 19 |
| 2.6.2. Tekuk Pada Badan | 27 |
| 2.6.3. Geser Horizontal dan Vertikal..... | 30 |
| 2.6.4. Kontrol Lendutan | 32 |
| 2.7 Kolom Baja <i>Wide Flange</i> (WF) | 32 |
| 2.7.1. Struktur Menahan Gaya Aksial | 32 |
| 2.7.2. Struktur Menahan Gaya Aksial Dan Lentur..... | 33 |
| 2.7.3. Panjang Efektif | 34 |
| 2.7.4. Komponen Struktur Tekan Dengan Elemen Nonlangsing | 36 |
| 2.7.5. Komponen Struktur Tekuk Torsi Lentur Dan Tanpa Elemen Langsing | 36 |
| 2.8 Perencanaan Sambungan..... | 37 |
| 2.8.1. Sambungan Baut..... | 37 |
| 2.8.2. Sambungan Las | 40 |
| 2.8.3. Sambungan pada struktur gable frame bangunan Gudang | 43 |
| 2.9 Plat Landas (<i>base plate</i>) dan Kolom Pedestal..... | 45 |
| 2.9.1. Desain Sambungan Kolom- <i>Base Plate</i> | 45 |
| 2.9.2. Batang Angkur | 47 |
| 2.10 Perencanaan Kolom Pedestal | 48 |
| 2.11 Perencanaan Balok Sloof | 51 |
| 2.11.1. Batasan dimensi..... | 51 |
| 2.11.2. Batasan penulangan | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 2.12 Perencanaan Pondasi Dengan Data Uji Sondir | 55 |
| 2.12.1. Daya Dukung Tiang Tunggal | 55 |
| 2.12.2. Daya Dukung Tiang Kelompok | 57 |
| 2.12.3. Penurunan Pondasi Tiang Pancang | 57 |
| 2.13 Perencanaan Pile Cap | 64 |
| 2.13.1. Gaya Geser Satu Arah | 65 |
| 2.13.2. Gaya Geser Dua Arah..... | 66 |
| 2.13.3. Penulangan Pile Cap..... | 67 |
| BAB III METODOLOGI PERENCANAAN | 68 |
| 3.1 Data Perencanaan | 68 |
| 3.1.1. Data Eksisting..... | 68 |
| 3.1.2. Lokasi Perencanaan | 68 |
| 3.1.3. Data Struktur Perencanaan | 68 |
| 3.1.4. Data material | 69 |
| 3.1.5. Data Penyelidikan tanah | 70 |
| 3.1.6. Gambar Eksisting | 79 |
| 3.1.7. Gambar Rencana | 84 |
| 3.2 Tahapan Perencanaan..... | 89 |
| 3.2.1. Analisa Pembebanan | 89 |
| 3.2.2. Analisa Struktur (Pemodelan Struktur) | 89 |
| 3.2.3. Preliminary Desain Dimensi | 90 |
| 3.2.4. Perencanaan Struktur Atap <i>Gable Frame</i> | 90 |
| 3.2.5. Perencanaan Penulangan | 90 |
| 3.2.6. Pemeriksaan Persyaratan | 90 |
| 3.2.7. Gambar Perencanaan | 92 |
| 3.3 Diagram Alir | 93 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 96 |

| | |
|---|-----|
| 4.1 Perencanaan Dimensi Struktur Atas (<i>Preliminary Design</i>) | 96 |
| 4.1.1. Perencanaan Dimensi Struktur Baja | 96 |
| 4.2 Perhitungan Pembebanan | 99 |
| 4.2.1. Pembebanan Pada Struktur Gable Frame | 99 |
| 4.2.2. Pembebanan Pada Sloof | 111 |
| 4.2.3. Beban Gempa (EQ) | 112 |
| 4.2.4. Kombinasi Beban | 125 |
| 4.3 Perhitungan Struktur Atap..... | 127 |
| 4.3.1. Perencanaan Gording | 127 |
| 4.3.2. Perencanaan Trekstang..... | 141 |
| 4.3.3. Perencanaan ikatan angin | 144 |
| 4.4 Perhitungan Struktur Gable Frame..... | 147 |
| 4.4.1. Rafter Baja Castella..... | 147 |
| 4.4.2. Kolom Baja (WF) | 157 |
| 4.5 Perencanaan Sambungan Struktur Gable Frame..... | 165 |
| 4.5.1. Perencanaan Sambungan Momen dan Geser (Rafter-Kolom) | 165 |
| 4.5.2. Perencanaan Sambungan Kombinasi Sejajar-Tegak Lurus (Memanjang Rafter Castella)..... | 182 |
| 4.5.3. Perencanaan Sambungan Menahan Momen Penuh (<i>Top Rafter</i>)..... | 191 |
| 4.5.4. Perencanaan Sambungan Plat Dasar Kolom (<i>Base Plate</i>) | 204 |
| 4.6 Perencanaan Dimensi Struktur Bawah (<i>Preliminary Design</i>) | 216 |
| 4.7 Perencanaan Penulangan Kolom Pedestal | 217 |
| 4.8 Perencanaan Penulangan Balok Sloof..... | 245 |
| 4.9 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang | 267 |
| 4.9.1. Data Perencanaan | 267 |
| 4.9.2. Daya Dukung Tiang Tunggal | 271 |
| 4.9.3. Daya Dukung Tiang kelompok | 272 |
| 4.9.4. Penurunan Pondasi Tiang Pancang | 275 |

| | |
|---|------------|
| 4.9.5. Penurunan Izin Tiang Kelompok..... | 282 |
| 4.10 Perencanaan Pile Cap..... | 283 |
| 4.10.1. Kontrol Gaya Geser Pons Akibat Kolom..... | 283 |
| 4.10.2. Kontrol Gaya Geser Pons Akibat Tiang..... | 284 |
| 4.10.3. Penulangan <i>Pile Cap</i> | 286 |
| BAB V PENUTUP | 302 |
| 5.1 Kesimpulan | 302 |
| 5.2 Saran..... | 304 |
| DAFTAR PUSTAKA | 305 |
| LAMPIRAN..... | 308 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Skema Pembebanan pada Gording Akibat Beban Mati (<i>Dead Load</i>) | 11 |
| Gambar 2.2 Skema peninjauan lendutan <i>simple beam</i> dengan beban merata | 12 |
| Gambar 2.3 Skema peninjauan lendutan <i>simple beam</i> dengan beban terpusat ... | 13 |
| Gambar 2.4 Jarak Gording dan Trekstang..... | 14 |
| Gambar 2.5 Skema Gaya tarik pada Trekstang | 14 |
| Gambar 2.6 Parameter rangka atap dan ikatan angin | 16 |
| Gambar 2.7 Pola Pembuatan Balok Castella..... | 18 |
| Gambar 2.8 Penambahan tinggi penampang setelah pemotongan | 19 |
| Gambar 2.9 Terminologi yang digunakan untuk menghitung gaya aksial.... | 20 |
| Gambar 2.10 Terminologi untuk menghitung momen <i>vierendeel</i> | 24 |
| Gambar 2.11 Skema Perhitungan Gaya Geser Horizontal Pada Badan Penampang | 27 |
| Gambar 2.12 Skema Perhitungan Kekuatan Lentur pada Badan | 28 |
| Gambar 2.13 Nilai Kc untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal..... | 34 |
| Gambar 2.14 Nomograf Nilai Kc untuk komponen struktur tak bergoyang dan komponen struktur bergoyang..... | 35 |
| Gambar 2.15 Parameter penentuan tebal efektif las gruv (las tumpul) | 41 |
| Gambar 2.16 Tebal efektif las sudut..... | 42 |
| Gambar 2.17 Parameter ukuran las <i>fillet</i> (las sudut) | 42 |
| Gambar 2.18 Letak Sambungan Pada Struktur Gable frame..... | 43 |
| Gambar 2.19 Sambungan Kombinasi Sejajar Tegak Lurus Menahan Momen dan Geser (Rafter)..... | 44 |
| Gambar 2.20 Model Sambungan Momen dan Geser (Rafter-Kolom) | 44 |
| Gambar 2.21 Model Sambungan Momen dan Geser (Puncak Rafter)..... | 44 |
| Gambar 2.22 Model sambungan las tumpul (las gruv) pada balok castella..... | 45 |
| Gambar 2.23 Model sambungan las sudut pada kolom dasar dan plat landasan | 45 |
| Gambar 2.24 Diagram interaksi Kolom kombinasi beban kritis kolom..... | 50 |
| Gambar 2.25 Faktor pengaruh dari bentuk distribusi gesekan kulit..... | 59 |
| Gambar 2.26 Jenis susunan umum group pile (pile cap)..... | 64 |
| Gambar 3.1 Peta Lokasi Gudang Pabrik Plastik PT. Mahkota Sukses Makmur. | 68 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 3.2 Lay out titik uji sondir | 71 |
| Gambar 3.3 Grafik uji sondir titik S.1 | 72 |
| Gambar 3.4 Grafik uji sondir titik S.2 | 73 |
| Gambar 3.5 Grafik uji sondir titik S.3 | 74 |
| Gambar 3.6 Denah Gudang Eksisting | 79 |
| Gambar 3.7 Denah Struktur Eksisting | 80 |
| Gambar 3.8 Denah Atap Eksisting | 81 |
| Gambar 3.9 Portal A s/d K Eksisting | 82 |
| Gambar 3.10 Portal 1 dan 2 Eksisting | 83 |
| Gambar 3.11 Denah Permodelan Kolom | 84 |
| Gambar 3.12 Denah Permodelan Sloof | 85 |
| Gambar 3.13 Permodelan Portal Melintang | 86 |
| Gambar 3.14 Permodelan Portal Memanjang | 87 |
| Gambar 3.15 Permodelan Prespektif Struktur | 88 |
| Gambar 3.16 Diagram Alir Perencanaan | 95 |
| Gambar 4. 1 Geometri Pematangan Penampang WF | 97 |
| Gambar 4. 2 Rencana Dimensi Balok Rafter Castella | 97 |
| Gambar 4. 3 Rencana Dimensi Balok Pengaku (B2) | 99 |
| Gambar 4.4 Input Beban Mati pada Rafter ujung/tepi ($Q_{D1'}$) | 100 |
| Gambar 4.5 Input Beban Mati pada Rafter tengah ($Q_{D2'}$) | 102 |
| Gambar 4.6 Input Beban Hidup Atap pada Rafter ujung/tepi ($Q_{L1'}$) | 103 |
| Gambar 4.7 Input Beban Hidup Atap pada Rafter tengah ($Q_{L2'}$) | 104 |
| Gambar 4.8 Input Beban Air Hujan pada Rafter ujung/tepi (R_1') | 105 |
| Gambar 4.9 Input Beban Air Hujan pada Rafter tengah (R_2') | 105 |
| Gambar 4.10 Input Beban Angin Hisap Arah X | 111 |
| Gambar 4.11 Input Beban Angin Tekan Arah X | 111 |
| Gambar 4.12 Input Beban dinding pada balok sloof | 112 |
| Gambar 4. 13 Parameter Kecepatan Gempa | 114 |
| Gambar 4. 14 Grafik Desain Respon Spektrum | 118 |
| Gambar 4. 15 Parameter Desain Respon Spektrum | 119 |
| Gambar 4. 16 Skema Beban Mati (D) Pada Gording | 128 |
| Gambar 4. 17 Skema Beban Hidup Atap pada Gording | 129 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4. 18 Skema Beban Hujan (R) pada Gording | 130 |
| Gambar 4. 19 Skema Beban Angin pada Gording | 133 |
| Gambar 4. 20 Perencanaan Trekstang | 141 |
| Gambar 4. 21 Perencanaan ikatan angin | 144 |
| Gambar 4.22 Nomogram untuk faktor panjang efektif portal bergoyang, k | 160 |
| Gambar 4.23 Tipe Sambungan Struktur Gable Frame | 165 |
| Gambar 4.24 Gaya Yang Terjadi Pada Sambungan Momen dan Geser (Rafter dan Kolom) | 168 |
| Gambar 4.25 Jarak Titik Berat Sambungan Momen dan Geser (Rafter-Kolom) | 171 |
| Gambar 4.26 Gaya tarik pada sambungan Momen dan Geser (Rafter-Kolom) | 172 |
| Gambar 4.27 Diagram Tegangan pada Sambungan Momen dan Geser (Rafter-Kolom) | 174 |
| Gambar 4.28 Sambungan Las Tumpul (groove) pada Rafter..... | 177 |
| Gambar 4.29 Panjang Las pada Penampang Rafter Castella..... | 178 |
| Gambar 4.30 Sambungan Las Sudut (Rafter-Kolom) | 180 |
| Gambar 4.31 Sambungan Momen dan Geser (Rafter - Kolom)..... | 182 |
| Gambar 4.32 Gaya Dalam pada Sambungan Kombinasi Sejajar-Tegak Lurus (Memanjang Rafter) | 184 |
| Gambar 4.33 Penguraian Beban Pada Tiap baut | 189 |
| Gambar 4.34 Sambungan Kombinasi Sambungan Sejajar- Tegak Lurus (Rafter-Rafter) | 190 |
| Gambar 4.35 Sambungan Menahan Momen Penuh (Top Rafter) | 193 |
| Gambar 4.36 Jarak titik berat sambungan Momen dan geser (Top rafter)..... | 196 |
| Gambar 4.37 Gaya tarik pada sambungan Momen dan Geser (Top Rafter) | 197 |
| Gambar 4.38 Diagram Tegangan pada Sambungan | 199 |
| Gambar 4.39 Sambungan Las Sudut (Top Rafter) | 202 |
| Gambar 4.40 Sambungan Momen dan Geser (Top Rafter)..... | 204 |
| Gambar 4.41 Tahanan Tumpu Beton | 211 |
| Gambar 4.42 Panjang Las Sudut (fillet) Rencana | 214 |
| Gambar 4.43 Sambungan Kolom Dasar (Base plate)..... | 216 |
| Gambar 4.44 Diagram Tegangan dan Regangan Kondisi Seimbang | 221 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Gambar 4.45 | Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang (1,25x f_y) | 224 |
| Gambar 4.46 | Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Desak | 227 |
| Gambar 4.47 | Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Tarik..... | 230 |
| Gambar 4.48 | Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Lentur Murni | 234 |
| Gambar 4.49 | Diagram Interaksi Desain Kolom arah sumbu x..... | 237 |
| Gambar 4.50 | Diagram Interaksi Desain Kolom arah sumbu y..... | 238 |
| Gambar 4.51 | Kode Ujung Kolom pedestal untuk nilai (K)..... | 239 |
| Gambar 4.52 | Diagram Interaksi Kolom | 241 |
| Gambar 4.53 | Detail Penulangan Kolom Pedestal (T) | 244 |
| Gambar 4.54 | Detail Penulangan kolom pedestal (L) | 245 |
| Gambar 4.55 | Diagram Regangan dan Tegangan pada daerah tumpuan kanan . | 253 |
| Gambar 4.56 | Diagram Regangan dan Tegangan pada Daerah tumpuan kiri | 257 |
| Gambar 4.57 | Diagram Regangan dan Tegangan pada Daerah Lapangan..... | 261 |
| Gambar 4.58 | Detail Penulangan Balok Sloof (S1)..... | 266 |
| Gambar 4.59 | Penempatan kedalaman rencana tiang pancang..... | 270 |
| Gambar 4.60 | Posisi sumbu kolom (K1) pada pile cap | 274 |
| Gambar 4.61 | Faktor pengaruh dari bentuk distribusi gesekan kulit..... | 275 |
| Gambar 4.62 | Grafik klasifikasi tanah menggunakan q_c dan FR..... | 278 |
| Gambar 4.63 | Potongan melintang profil tanah dan penyebaran tegangan | 280 |
| Gambar 4.64 | Bidang geser pons akibat Kolom Pedestal..... | 283 |
| Gambar 4.65 | Gaya Geser Pons akibat Tiang Pancang | 285 |
| Gambar 4.66 | Gaya dan Reaksi pada pile cap | 286 |
| Gambar 4.67 | Analisis momen lentur pada pile cap penampang melintang | 287 |
| Gambar 4.68 | Analisa statika pada penampang pile cap memanjang | 288 |
| Gambar 4.69 | Diagram Regangan dan Tegangan pada Penampang Melintang . | 292 |
| Gambar 4.70 | Detail Penulangan Pile cap Penampang Melintang | 294 |
| Gambar 4.71 | Analisis momen lentur pada pile cap penampang memanjang.... | 294 |
| Gambar 4.72 | Analisa statika penampang pile cap melintang..... | 295 |
| Gambar 4.73 | Diagram Regangan dan Tegangan pada Penampang Melintang . | 299 |
| Gambar 4.74 | Detail Penulangan Pile Cap Penampang Memanjang | 301 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Matriks Studi Terdahulu..... | 5 |
| Tabel 2.2 Syarat Ketebalan Selimut Beton..... | 51 |
| Tabel 2.3 Perkiraan modulus elastisitas tanah (Es)..... | 60 |
| Tabel 2.4 Perkiraan angka poisson (μ_s) | 60 |
| Tabel 2.5 Nilai faktor pengaruh bentuk pondasi (I_{wp})..... | 60 |
| Tabel 3.1 Koordinat dan elevasi titik penyelidikan tanah | 70 |
| Tabel 3.2 Hasil uji sondir titik S.1..... | 75 |
| Tabel 3.3 Hasil uji sondir titik S.2..... | 76 |
| Tabel 3.4 Hasil uji sondir titik S.3..... | 78 |
| Tabel 4. 1 Klasifikasi Kelas Situs..... | 112 |
| Tabel 4. 2 Faktor Keutamaan Gempa..... | 113 |
| Tabel 4. 3 Klasifikasi Kelas Situs Tanah..... | 113 |
| Tabel 4. 4 Faktor Amplifikasi Periode Pendek | 114 |
| Tabel 4. 5 Faktor Amplifikasi Periode 1 Detik | 115 |
| Tabel 4. 6 KDS berdasarkan SDS..... | 116 |
| Tabel 4. 7 KDS berdasarkan SD1 | 116 |
| Tabel 4. 8 Rekapitulasi Parameter Gempa | 117 |
| Tabel 4. 9 Nilai Faktor R, Cd, dan Ω_0 | 119 |
| Tabel 4. 10 Periode Fundamental Struktur..... | 120 |
| Tabel 4. 11 Periode Fundamental | 121 |
| Tabel 4.12 Massa Portal Tepi (kN) | 122 |
| Tabel 4.13 Massa Portal Tengah (kN)..... | 123 |
| Tabel 4. 14 Gaya gempa statis ekuivalen | 125 |
| Tabel 4. 15 Kombinasi Beban | 126 |
| Tabel 4.16 Momen Ultimate dengan beban terfaktor..... | 135 |
| Tabel 4. 17 Interaksi Kombinasi aksial dan lentur penampang T | 155 |
| Tabel 4.18 Posisi kondisi ujung-ujung pada portal bergoyang | 160 |
| Tabel 4.19 Jarak baut terhadap titik berat | 171 |
| Tabel 4.20 Tabel Titik Berat Pada Tiap Baut..... | 189 |
| Tabel 4.21 Tabel Gaya Pada Tiap baut | 190 |
| Tabel 4.22 Output Gaya Pada kolom dari CSI Etabs | 218 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4.23 Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang | 222 |
| Tabel 4.24 Perhitungan Gaya Rencana Kondisi Seimbang..... | 223 |
| Tabel 4.25 Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang (1,25xfy) 225 | |
| Tabel 4.26 Perhitungan Gaya Rencana pada Kondisi Seimbang (1,25xfy) | 226 |
| Tabel 4.27 Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Desak | 228 |
| Tabel 4.28 Perhitungan Gaya Rencana pada Kondisi Patah Desak | 228 |
| Tabel 4.29 Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Tarik..... | 231 |
| Tabel 4.30 Perhitungan Gaya Rencana pada Kondisi Patah Tarik..... | 231 |
| Tabel 4.31 Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Lentur Murni..... | 235 |
| Tabel 4.32 Perhitungan Gaya Rencana pada Kondisi Lentur Murni..... | 235 |
| Tabel 4.33 Rekapitulasi Gaya Desain pada setiap Kondisi dengan formasi tulangan 20D13 penampang sumbu X..... | 236 |
| Tabel 4.34 Rekapitulasi Gaya Desain pada setiap Kondisi dengan formasi tulangan 24D13 penampang sumbu X..... | 236 |
| Tabel 4.35 Rekapitulasi Gaya Desain pada setiap Kondisi dengan formasi tulangan 28D13 penampang sumbu X..... | 237 |
| Tabel 4.36 Rekapitulasi Gaya Desain pada setiap Kondisi dengan formasi tulangan 20D13 penampang sumbu Y | 237 |
| Tabel 4.37 Rekapitulasi Gaya Desain pada setiap Kondisi dengan formasi tulangan 24D13 penampang sumbu Y | 238 |
| Tabel 4.38 Rekapitulasi Gaya Desain pada setiap Kondisi dengan formasi tulangan 28D13 penampang sumbu Y | 238 |
| Tabel 4.39 Gaya dalam ultimate pada penampang kolom | 240 |
| Tabel 4.40 Rekapitulasi gaya-gaya reaksi tumpuan dengan beban terfaktor | 268 |
| Tabel 4.41 Data Hasil Uji Sondir (S2) | 269 |
| Tabel 4.42 Rekapitulasi perhitungan trial and eror daya dukung tiang tunggal. 272 | |
| Tabel 4.43 Rekapitulasi perhitungan trial and eror jumlah tiang | 272 |
| Tabel 4.44 Rekapitulasi perhitungan trial and eror jumlah tiang kelompok | 274 |
| Tabel 4.45 Distribusi beban maksimum tiang | 274 |
| Tabel 4.46 Rekapitulasi klasifikasi tanh dengn data sondir | 278 |
| Tabel 4.47 korelasi qc dan konsistensi tanah | 279 |
| Tabel 4.48 Korelasi tanah, angka pori dan berat isi tanah kering | 279 |

Tabel 4.49 Korelasi jenis tanah dan berat isi untuk tanah asli 279

DAFTAR NOTASI

| | |
|---------------|--|
| ΔS_g | = Penurunan total konsolidasi pada kelompok tiang |
| ΔS_i | = Penurunan konsolidasi pada lapisan ke i |
| a | = Tinggi daerah tekan beton, mm |
| A_{cv} | = Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau, mm^2 |
| A_{cp} | = Luas dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2 |
| α_{fm} | = Nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel |
| A_g | = Luas bruto penampang beton, mm^2 |
| A_j | = Luas efektif joint, mm^2 |
| A_o | = Luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser, mm^2 |
| A_p | = Luas penampang tiang |
| A_{oh} | = Luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar, mm^2 |
| $A_{s_{min}}$ | = Luas tulangan minimum, mm^2 |
| A_{sh} | = Luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang) dalam spasi s , mm^2 |
| A_s | = Luas total tulangan longitudinal nonprategang (batang tulangan), mm^2 |
| A_{st} | = Keliling penampang tiang |
| b | = Lebar muka tekan komponen struktur, mm |
| bf | = Lebar sayap efektif penampang T, mm |
| b_w | = Lebar badan, tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran, mm |
| b_o | = Keliling dari penampang kritis pada pelat pondasi telapak |
| B' | = lebar penampang kritis |
| B_g | = Lebar kelompok tiang |
| β_1 | = Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral |
| c | = Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral, mm |
| C_c | = Compression index |
| D | = Beban mati |
| D | = Diameter Tiang |
| d_g | = Tinggi balok castella |

| | |
|--------------|---|
| d_t | = Tinggi balok T pada castella |
| d | = Tinggi efektif pelat pondasi |
| E | = Beban gempa |
| E_c | = Modulus elastisitas beton, Mpa |
| E_s | = Modulus elastisitas tulangan, Mpa |
| E_x | = Pengaruh beban gempa sumbu X |
| E_y | = Pengaruh beban gempa sumbu Y |
| ϵ_c | = Regangan beton |
| ϵ_s | = Regangan tulangan |
| E_g | = Efisiensi kelompok tiang |
| E_s | = Modulus elastisitas tanah di ujung tiang |
| f | = Defleksi pada komponen struktur |
| f_c' | = Kuat tekan beton, Mpa |
| F_{cr} | = Tegangan kritis |
| f_s | = Tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan, Mpa |
| f_y | = Kuat leleh tulangan, Mpa |
| f_{yt} | = Kuat leleh tulangan transversal, Mpa |
| h | = Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm |
| H_i | = Tebal lapisan ke-i |
| I | = Faktor pengaruh |
| L | = Beban hidup |
| L | = Panjang tiang |
| L_g | = Panjang kelompok tiang |
| L_r | = Beban hidup atap |
| M_u | = momen terfaktor yang terjadi |
| N | = Jumlah tiang |
| \emptyset | = Faktor reduksi kekuatan |
| ϕ | = factor reduksi untuk geser (0,75) |
| p | = Keliling penampang tiang |
| P_{cp} | = Keliling penampang luar beton, mm |
| P_u | = beban aksial yang bekerja |
| ρ | = Faktor redundansi |

- ρ = Rasio As terhadap bd
 ρ_{min} = Rasio tulangan minimum
 ρ_{max} = Rasio tulangan maksimum
 ρ_t = Rasio luas tulangan transversal terdistribusi terhadap luas beton bruto yang tegak lurus terhadap tulangan yang dimaksud
 Q_{all} = Daya dukung ijin tiang tunggal
 Q_g = Daya dukung kelompok tiang
 Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang
 q_p = Satuan perlawanan daya dukung ujung tiang
 Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang
 Q_u = Daya dukung ultimit tiang
 Q_v = Beban aksial/vertikal yang terjadi
 Q_{wp} = Beban yang diterima ujung tiang
 Q_{ws} = Beban yang diterima sepanjang kulit tiang
 q_c = Tahanan ujung konus sondir
 q' = berat pile cap pada penampang kritis
 R = Beban air hujan
 $S_g(e)$ = Penurunan elastik kelompok tiang
 SF = Faktor keamanan (safety factor)
 s = Jarak masing-masing tiang dalam kelompok
 s = penurunan elastik tiang tunggal
 s_1 = penurunan yang terjadi sepanjang tiang
 s_2 = penurunan tiang disebabkan oleh beban yang bekerja pada ujung tiang
 s_3 = penurunan tiang disebabkan oleh beban yang bekerja sepanjang kulit
 T_f = Total friksi/jumlah hambatan pelekat
 μ_s = Angka poisson untuk tanah
 V_u = gaya geser yang bekerja pada penampang kritis
 V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton
 W = Beban angin
 $\Delta p(i)$ = Penambahan tegangan pada tegangan-tegangan lapisan i
 γ = Berat isi tanah
 Z_i = Jarak dari $z = 0$ sampai dengan tengah-tengah lapisan ke i

DAFTAR PERSAMAAN

| | |
|------------------------|----|
| Persamaan 2.3.1 | 7 |
| Persamaan 2.3.2 | 7 |
| Persamaan 2.3.3 | 8 |
| Persamaan 2.3.4 | 8 |
| Persamaan 2.3.5 | 9 |
| Persamaan 2.4.1 | 12 |
| Persamaan 2.4.1a..... | 12 |
| Persamaan 2.4.1b | 12 |
| Persamaan 2.4.2 | 12 |
| Persamaan 2.4.3 | 13 |
| Persamaan 2.4.3a..... | 13 |
| Persamaan 2.4.3b | 13 |
| Persamaan 2.4.5 | 13 |
| Persamaan 2.4.6 | 14 |
| Persamaan 2.4.7 | 14 |
| Persamaan 2.4.8 | 15 |
| Persamaan 2.4.8a..... | 15 |
| Persamaan 2.4.8b | 15 |
| Persamaan 2.4.9 | 15 |
| Persamaan 2.5.1 | 16 |
| Persamaan 2.5.2 | 16 |
| Persamaan 2.5.3 | 17 |
| Persamaan 2.5.4 | 17 |
| Persamaan 2.5.5 | 17 |
| Persamaan 2.5.6 | 17 |
| Persamaan 2.5.7 | 17 |
| Persamaan 2.5.8 | 17 |
| Persamaan 2.5.9 | 17 |
| Persamaan 2.6.1 | 18 |
| Persamaan 2.6.2 | 18 |
| Persamaan 2.6.3 | 18 |

| | |
|-------------------------|----|
| Persamaan 2.6.4 | 18 |
| Persamaan 2.6.5 | 19 |
| Persamaan 2.6.6 | 19 |
| Persamaan 2.6.7 | 20 |
| Persamaan 2.6.8 | 21 |
| Persamaan 2.6.9 | 22 |
| Persamaan 2.6.10 | 22 |
| Persamaan 2.6.11 | 22 |
| Persamaan 2.6.12 | 22 |
| Persamaan 2.6.13 | 22 |
| Persamaan 2.6.13a..... | 23 |
| Persamaan 2.6.13b | 23 |
| Persamaan 2.6.13c..... | 23 |
| Persamaan 2.6.13d | 23 |
| Persamaan 2.6.13e..... | 23 |
| Persamaan 2.6.14 | 23 |
| Persamaan 2.6.15 | 23 |
| Persamaan 2.6.16 | 24 |
| Persamaan 2.6.17 | 24 |
| Persamaan 2.6.18 | 24 |
| Persamaan 2.6.18a..... | 24 |
| Persamaan 2.6.18b | 24 |
| Persamaan 2.6.18c..... | 24 |
| Persamaan 2.6.18d | 24 |
| Persamaan 2.6.19 | 25 |
| Persamaan 2.6.20 | 25 |
| Persamaan 2.6.21 | 25 |
| Persamaan 2.6.22 | 25 |
| Persamaan 2.6.23 | 25 |
| Persamaan 2.6.24 | 25 |
| Persamaan 2.6.25 | 26 |
| Persamaan 2.6.26 | 26 |

| | |
|-------------------------|----|
| Persamaan 2.6.27 | 26 |
| Persamaan 2.6.28 | 26 |
| Persamaan 2.6.29 | 28 |
| Persamaan 2.6.30 | 28 |
| Persamaan 2.6.31 | 28 |
| Persamaan 2.6.32 | 28 |
| Persamaan 2.6.33a..... | 29 |
| Persamaan 2.6.33b | 29 |
| Persamaan 2.6.33c..... | 29 |
| Persamaan 2.6.34a..... | 29 |
| Persamaan 2.6.34b | 29 |
| Persamaan 2.6.34c..... | 29 |
| Persamaan 2.6.35 | 29 |
| Persamaan 2.6.36 | 30 |
| Persamaan 2.6.37 | 30 |
| Persamaan 2.6.38 | 30 |
| Persamaan 2.6.39 | 30 |
| Persamaan 2.6.40 | 30 |
| Persamaan 2.6.41 | 31 |
| Persamaan 2.6.42 | 31 |
| Persamaan 2.6.43 | 31 |
| Persamaan 2.6.44 | 31 |
| Persamaan 2.6.45 | 31 |
| Persamaan 2.6.46 | 31 |
| Persamaan 2.6.47 | 31 |
| Persamaan 2.6.48 | 31 |
| Persamaan 2.6.49 | 31 |
| Persamaan 2.6.50 | 31 |
| Persamaan 2.7.1 | 32 |
| Persamaan 2.7.2 | 32 |
| Persamaan 2.7.3 | 33 |
| Persamaan 2.7.4 | 33 |

| | |
|-------------------------|----|
| Persamaan 2.7.5 | 33 |
| Persamaan 2.7.6 | 33 |
| Persamaan 2.7.7 | 33 |
| Persamaan 2.7.8 | 33 |
| Persamaan 2.7.9 | 35 |
| Persamaan 2.7.10 | 36 |
| Persamaan 2.7.11 | 36 |
| Persamaan 2.7.12 | 36 |
| Persamaan 2.7.13 | 36 |
| Persamaan 2.7.14 | 36 |
| Persamaan 2.7.15 | 36 |
| Persamaan 2.7.15a..... | 37 |
| Persamaan 2.7.15b | 37 |
| Persamaan 2.7.15c..... | 37 |
| Persamaan 2.7.15d | 37 |
| Persamaan 2.7.15e..... | 37 |
| Persamaan 2.8.1 | 38 |
| Persamaan 2.8.2 | 38 |
| Persamaan 2.8.3 | 38 |
| Persamaan 2.8.4 | 38 |
| Persamaan 2.8.5 | 39 |
| Persamaan 2.8.6 | 39 |
| Persamaan 2.8.7 | 39 |
| Persamaan 2.8.8 | 39 |
| Persamaan 2.8.9 | 39 |
| Persamaan 2.8.10 | 39 |
| Persamaan 2.8.11a..... | 41 |
| Persamaan 2.8.11b | 41 |
| Persamaan 2.8.12a..... | 41 |
| Persamaan 2.8.12b | 41 |
| Persamaan 2.8.13 | 43 |
| Persamaan 2.8.13a..... | 43 |

| | |
|-------------------------|----|
| Persamaan 2.8.13b | 43 |
| Persamaan 2.9.1 | 46 |
| Persamaan 2.9.2 | 46 |
| Persamaan 2.9.3 | 46 |
| Persamaan 2.9.3 | 46 |
| Persamaan 2.9.4 | 46 |
| Persamaan 2.9.5 | 46 |
| Persamaan 2.9.6 | 46 |
| Persamaan 2.9.7 | 47 |
| Persamaan 2.9.8 | 47 |
| Persamaan 2.9.9 | 47 |
| Persamaan 2.9.10 | 47 |
| Persamaan 2.10.1 | 48 |
| Persamaan 2.10.2 | 48 |
| Persamaan 2.10.3 | 49 |
| Persamaan 2.10.4 | 49 |
| Persamaan 2.10.5 | 49 |
| Persamaan 2.10.6 | 49 |
| Persamaan 2.10.7 | 49 |
| Persamaan 2.10.8 | 49 |
| Persamaan 2.10.9 | 49 |
| Persamaan 2.10.10 | 49 |
| Persamaan 2.10.11 | 50 |
| Persamaan 2.10.12 | 51 |
| Persamaan 2.10.13 | 51 |
| Persamaan 2.10.14 | 51 |
| Persamaan 2.10.15 | 51 |
| Persamaan 2.11.1 | 52 |
| Persamaan 2.11.2 | 52 |
| Persamaan 2.11.3 | 52 |
| Persamaan 2.11.4 | 52 |
| Persamaan 2.11.5 | 52 |

| | |
|-------------------------|----|
| Persamaan 2.11.6 | 52 |
| Persamaan 2.11.7 | 52 |
| Persamaan 2.11.8 | 52 |
| Persamaan 2.11.9 | 53 |
| Persamaan 2.11.10 | 53 |
| Persamaan 2.11.11 | 53 |
| Persamaan 2.11.12 | 53 |
| Persamaan 2.11.13 | 53 |
| Persamaan 2.11.14 | 53 |
| Persamaan 2.11.15 | 53 |
| Persamaan 2.11.16 | 53 |
| Persamaan 2.11.17 | 53 |
| Persamaan 2.11.18 | 53 |
| Persamaan 2.11.19 | 53 |
| Persamaan 2.11.20 | 54 |
| Persamaan 2.11.21 | 54 |
| Persamaan 2.11.22 | 54 |
| Persamaan 2.11.23 | 54 |
| Persamaan 2.11.24 | 54 |
| Persamaan 2.11.25 | 54 |
| Persamaan 2.11.26 | 54 |
| Persamaan 2.11.27 | 54 |
| Persamaan 2.11.28 | 55 |
| Persamaan 2.11.29 | 55 |
| Persamaan 2.11.30 | 55 |
| Persamaan 2.11.31 | 55 |
| Persamaan 2.12.1 | 55 |
| Persamaan 2.12.2 | 56 |
| Persamaan 2.12.3 | 56 |
| Persamaan 2.12.4 | 57 |
| Persamaan 2.12.5 | 57 |
| Persamaan 2.12.6 | 57 |

| | |
|--------------------------|----|
| Persamaan 2.12.7 | 58 |
| Persamaan 2.12.8 | 58 |
| Persamaan 2.12.9 | 58 |
| Persamaan 2.12.10 | 58 |
| Persamaan 2.12.11 | 58 |
| Persamaan 2.12.12 | 59 |
| Persamaan 2.12.13 | 59 |
| Persamaan 2.12.14 | 61 |
| Persamaan 2.12.15 | 61 |
| Persamaan 2.12.16 | 61 |
| Persamaan 2.12.17 | 62 |
| Persamaan 2.12.18 | 62 |
| Persamaan 2.12.19 | 62 |
| Persamaan 2.12.20 | 62 |
| Persamaan 2.12.21 | 62 |
| Persamaan 2.12.22 | 63 |
| Persamaan 2.12.23 | 63 |
| Persamaan 2.13.1 | 65 |
| Persamaan 2.13.2 | 65 |
| Persamaan 2.13.3 | 65 |
| Persamaan 2.13.4 | 65 |
| Persamaan 2.13.5 | 65 |
| Persamaan 2.13.6 | 66 |
| Persamaan 2.13.7 | 66 |
| Persamaan 2.13.8 | 66 |
| Persamaan 2.13.9 | 66 |
| Persamaan 2.13.10a..... | 66 |
| Persamaan 2.13.10b | 66 |
| Persamaan 2.13.10c..... | 66 |
| Persamaan 2.13.11 | 67 |
| Persamaan 2.13.12 | 67 |
| Persamaan 2.13.13 | 67 |

| | |
|-------------------------|----|
| Persamaan 2.13.14 | 67 |
| Persamaan 2.13.15 | 67 |
| Persamaan 2.13.16 | 67 |