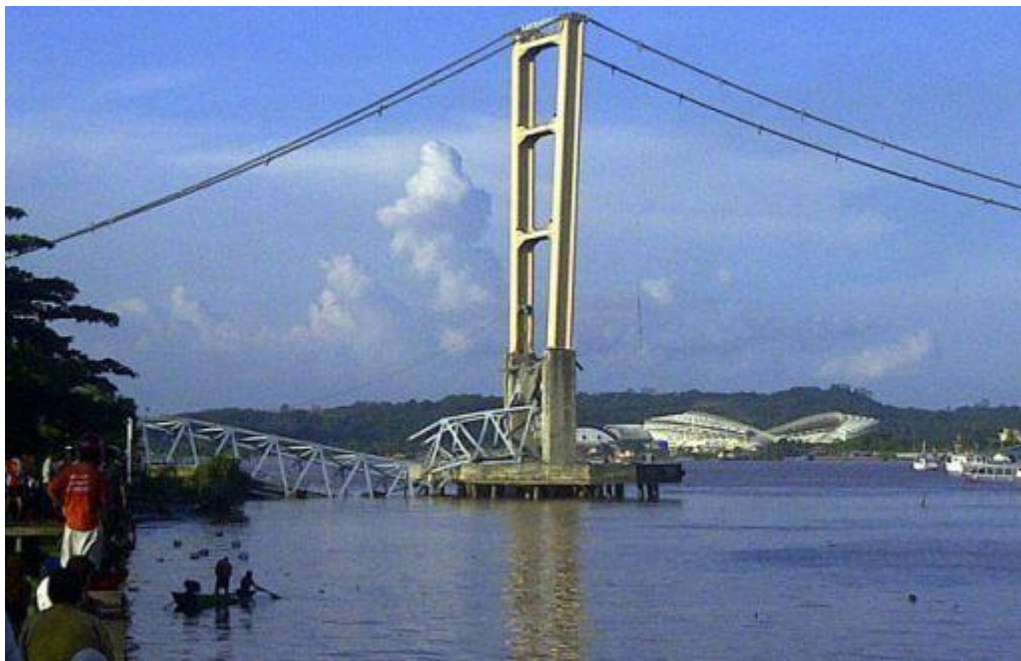




BUKU INFORMASI
MELAKUKAN PENGUJIAN KEGAGALAN
BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN

M.71PKJ00.005.1



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA KONSTRUKSI
DIREKTORAT KOMPETENSI DAN PRODUKTIVITAS KONSTRUKSI

Jl. Sapta Taruna Raya No. 28 Komplek PU Pasar Jumat, Jakarta Selatan 12310

2021

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	0
BAB. I PENDAHULUAN.	4
A. TUJUAN UMUM.	4
B. TUJUAN KHUSUS.	4
BAB. II PENGIDENTIFIKASIAN KEGAGALAN STRUKTUR BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN.	5
A. PEMERIKSAAN REKAYASA JEMBATAN (PERENCANAAN, PELAKSANAAN DAN PEMELIHARAAN) YANG TERDIRI DARI STRUKTUR BAWAH DAN ATAS JALAN LAYANG DAN JEMBATAN SESUAI KARAKTERISTIK KEGAGALAN.	5
B. KLASIFIKASI JENIS DAN LETAK KEGAGALAN SESUAI KARAKTERISTIK KEGAGALAN.	9
C. PENYEBAB KEGAGALAN DIANALISIS SESUAI DENGAN HASIL IDENTIFIKASI DAN INVESTIGASI.	122
BAB. III PENGUJIAN STRUKTUR BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN.	199
A. PENYIAPAN DATA DAN SUMBER DAYA SESUAI DENGAN KEBUTUHAN.	199
B. PELAKSANAAN PENGUJIAN STRUKTUR BAWAH DAN ATAS SESUAI DENGAN PROSEDUR.	24
BAB. IV PEMERIKSAAN NON STRUKTUR BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN.	41
A. PENGIDENTIFIKASIAN ALINYEMEN VERTIKAL DAN HORIZONTAL GEOMETRIK JALAN LAYANG DAN JEMBATAN SESUAI DENGAN FUNGSI LAYANAN.	41
B. PENGUJIAN GEOMETRIK STRUKTUR BANGUNAN TERHADAP KEAMANAN, KENYAMANAN DAN KESELAMATAN.	44

BAB. V PENGIDENTIFIKASIAN TEKNOLOGI YANG DITERAPKAN.	41
A. PENGUMPULAN TEKNOLOGI , METODA KERJA, MATERIAL, DESAIN SESUAI JENIS DAN KARAKTERISTIK KEGAGALAN.	41
B. ANALISIS TEKNOLOGI , METODA KERJA, MATERIAL, DESAIN SESUAI DENGAN PROSEDUR OPERASIONAL STANDAR (POS) / NORMA STANDAR PEDOMAN DAN MANUAL (NSPM).	44
C. EVALUASI TEKNOLOGI KERJA, MATERIAL, DESAIN SESUAI POS /NSPM.....	52
DAFTAR PUSTAKA	54
A. DASAR PERUNDANG-UNDANGAN.	54
B. BUKU REFERENSI.	54
DAFTAR GAMBAR.	
GAMBAR 1 : Sistim Tulangan tidak cukup di Jogjakarta.....	15
GAMBAR 2 : Core Drill beton di lapangan.....	28
GAMBAR 3 :Hasil Core Log beton di lapangan	28
GAMBAR 4 :Core Log Sheet.....	28
GAMBAR 5 :Runtuh akibat Gagal Bowstring.....	35
GAMBAR 6 :Runtuh akibat Perubahan Arah LaluLintas.....	35
GAMBAR 7 :Runtuh akibat kendaraan ODOL.....	36
GAMBAR 8: Tidak ada pemeliharaan sehingga jalan rusak diatas jembatan	36
GAMBAR 9 : Tidak ada pemeliharaan sehingga rangka jembatan keropos.	37
GAMBAR 10 : Karena minimnya pemeliharaan sehingga jembatan runtuh.	37
GAMBAR 11: Akibat kebakaran kendaraan di atas Jembatan, sehingga jembatan runtuh.....	38
GAMBAR 12: Jembatan runtuh akibat banjir dan scouring.....	39
GAMBAR 13: Jembatan runtuh akibat banjir dan scouring.....	39
GAMBAR 14 : Jembatan runtuh saat pemeliharaan.....	39
GAMBAR 15 : Bentuk dari Jembatan.....	46
GAMBAR 16 :Metode Sistem Service Crane.....	47

GAMBAR 17 :Metode <i>Launching Truss</i>.....	47
GAMBAR 18 :Metode <i>Counter Weight</i> dan <i>Link Set</i>.....	47
GAMBAR 19 :Metode <i>Launching Gantry</i>.....	48
GAMBAR 20 : Traveler atau Heavy Gauntri.....	48
GAMBAR 21 :Clearence pada jembatan diatas selat /laut / sungai yang dilewati kapal.....	50

DAFTAR FORM.

FORM 1 : Berita Acara Hasil Investigasi Kegagalan Bangunan.....	18
--	-----------

DAFTAR TABEL.

TABEL 1 : Faktor koreksi akibat arah pengambilan sampel.....	29
TABEL 2 : Faktor koreksi akibat ratio panjang dan diameter (L/D).....	30

BAB. I.

PENDAHULUAN.

A. TUJUAN UMUM.

Selesai mempelajari modul ini peserta memiliki kemampuan untuk Melakukan pengujian Kegagalan Bangunan Jalan Layang dan Jembatan.

B. TUJUAN KHUSUS.

Adapun tujuan mempelajari unit kompetensi melalui buku informasi ini, untuk Melakukan pengujian Kegagalan Bangunan Jalan Layang dan Jembatan guna memfasilitasi peserta latih sehingga pada akhir pelatihan diharapkan memiliki kemampuan sebagai berikut:

- 1) Kemampuan untuk mengidentifikasi kegagalan struktur bangunan jalan layang dan jembatan.
- 2) Kemampuan untuk menguji struktur bangunan jalan layang dan jembatan.
- 3) Kemampuan untuk memeriksa non struktur bangunan jalan layang dan jembatan.
- 4) Kemampuan untuk mengidentifikasi teknologi yang diterapkan.

BAB. II

PENGIDENTIFIKASIAN KEGAGALAN STRUKTUR BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN.

A. PEMERIKSAAN REKAYASA JEMBATAN (PERENCANAAN, PELAKSANAAN DAN PEMELIHARAAN) YANG TERDIRI DARI STRUKTUR BAWAH DAN ATAS JALAN LAYANG DAN JEMBATAN SESUAI KARAKTERISTIK KEGAGALAN.

Rekayasa Jembatan adalah salah satu ilmu Teknik Sipil yang membekali pengetahuan tentang perkembangan jembatan, tipe-tipe jembatan dan komponennya, penentuan lokasi jembatan, pengetahuan tentang material jembatan dan data-data yang diperlukan serta membekali bagaimana cara melakukan perencanaan dimensi, perhitungan kekuatan seluruh komponen, jembatan termasuk cara penggambarannya.

Merupakan salah satu ilmu teknik yang menspesialisasikan dalam perancangan dan pembuatan jalan dan jembatan, khususnya jalan bebas hambatan, atau yang lebih dikenal dengan sebutan jalan tol.

Pemeriksaan Rekayasa jembatan dilaksanakan untuk mencatat data administrasi, dimensi, material, dan kondisi setiap struktur utama dan komponen jembatan dalam Sistem Informasi Manajemen Jembatan.

Pemeriksaan dilakukan sebagai berikut:

1. mencatat nomor, nama dan lokasi Jembatan;
2. mengukur dan mencatat dimensi jembatan keseluruhan;
3. mencatat jenis jembatan, lintasannya, komponen utama dan tanggal atau tahun pembangunan;
4. mencatat batas-batas muatan atau pembatasan fungsional lainnya;
5. menafsirkan dan mencatat pengaruh lebar jembatan terhadap lalu lintas;
6. mencatat data banjir tertinggi yang diketahui, tanggal terjadinya dan sumber informasi ;

7. mencatat apakah terdapat gambar jembatan terlaksana (*As-built drawing*) dan apakah jembatan merupakan jenis standar.

Kewajiban Pengelola / *Owner* selama masa pengoperasian :

Melaksanakan monitoring & *Infrastructure Management System* :

1. data base yang mencukupi, akurat, dan *up to date* .
2. prosedur pemeliharaan, inspeksi, monitoring, evaluasi yang *reliabel*, dan kriteria yang tepat untuk melakukan penilaian/rating kondisi fisik/struktural dan fungsional *existing structures*.
3. prediksi kondisi struktur dan kebutuhan masa mendatang .
4. program pemeliharaan, inspeksi, monitoring, evaluasi, rehabilitasi, *repair*, peningkatan, perkuatan dan penggantian.
5. penyediaan peralatan dan sumber daya manusia yg memadai.
6. daftar prioritas, tahapan, dan estimasi biaya.

Penyebab *degradasi* material / Struktur :

{*degradasi : strength (fc', fy), stiffness (EI,AE,GJ), serviceability, stability, durability*}

1. Gempa bumi tektonik perlu *assessment* : pasca gempa / laik fungsi berkala.
2. Lingkungan *agresif* atau *korosif* (*chlorid, acid, carbon attack*).
3. *Fatigue* dan *fracture* perlu *stress ratio* tinggi (desain tidak cermat).
4. Getaran, beban berulang, beban *impuls*, tumbukan (lingkungan sekitar).
5. *Overloading* diperlukan *intensitas* beban, *repetisi* beban terhadap rencana.
6. Temperatur (tinggi/rendah), kebakaran dan *at cyclic* serta *fatigue thermal load* .
7. *Weathering* serta *Aging* (*durability problem*) .
8. Banjir, *Scouring* & abrasi dan *substructure ; hydraulic / coastal structures*.
9. Beralih fungsi (beban jadi lebih besar dari rencana; *static* ke *dinamik*)

Kewajiban Pengelola / *Owner* selama masa pengoperasian ,antara lain melaksanakan *monitoring & infrastructure management system* , berupa :

1. *data base* yang mencukupi, akurat, dan *up to date*.
2. prosedur pemeliharaan, inspeksi, *monitoring*, evaluasi yang *reliabel*, dan kriteria yang tepat untuk melakukan penilaian/rating kondisi fisik / struktural dan *functional existing structures* .
3. prediksi kondisi struktur dan kebutuhan masa mendatang.
4. program pemeliharaan, inspeksi, monitoring, evaluasi, rehabilitasi, *repair*, peningkatan, perkuatan dan penggantian.
5. penyediaan peralatan dan sumber daya manusia yg memadai.
6. daftar prioritas, tahapan, dan estimasi biaya.

Infrastructure management system : yang sudah berkembang dan diimplementasi :

1. *Airport Pavement Management System (APMS)*.
2. *Pavement Management System (PMS)*,
3. *Bridge Management System (BMS)*,
4. *Structural Health Monitoring System (SHMS) for bridges, buildings, industrial buildings, offshore* ,
5. *Management, Operation, and Maintenance of Irrigation and Drainage Systems*,
6. *Marine Asset Management System (MAMS)*,

Forensic Engineering lahir di USA pada tahun 1982, dibidani oleh *American Society of Civil Engineers (ASCE)*,

1. setelah mengevaluasi capaian mereka dalam membangun begitu banyak bangunan/infrastruktur, mengoperasikan untuk melayani publik, memelihara dan merepair selama lebih dari 150 tahun,
2. dan telah mengalami banyak sekali keberhasilan dalam desain, konstruksi, dan pengelolaan maintenance infrastruktur, maupun mengalami berbagai kegagalan konstruksi dan kegagalan bangunan.

3. *Motto dari Forensic Engineering* adalah : **“learning from failures”**.

Hasil *investigasi forensik* yang dilakukan oleh *forensic engineer* dapat menjadi masukan kepada Dewan Arbitrase bila ada sengketa kontrak kerja, kepada Komite K2 bila terjadi kegagalan saat konstruksi, atau kepada Penilai Ahli bila terjadi Kegagalan Bangunan.

Sejak itu (1982) secara meluas diikuti oleh berbagai negara di seluruh dunia. Diikuti berbagai Universitas di USA mulai mengajarkan mata kuliah *Forensic Engineering* dalam kurikulum berbagai bangunan gedung, stadion, jembatan, *pavement, airport pavement, transportation tunnel*, geoteknik, bendungan, *hydraulic structures*, bangunan *onshore* maupun *offshore*, dan sejenisnya, penyebab kegagalannya telah diinvestigasi dan diungkap, yang hasilnya sangat bermanfaat selain untuk penyelesaian masalah juga untuk pengetahuan agar kegagalan tidak terulang lagi.

4. *Forensic Engineering* dalam bidang teknik sipil dapat diartikan sebagai: aplikasi dari *engineering principles* pada *investigasi* teknis atas kecelakaan kerja / konstruksi, kerusakan dini, kegagalan, keruntuhan atau tidak berfungsinya (sesuai rencana pemanfaatan) suatu bangunan, baik sebagian maupun keseluruhan, yang mengakibatkan adanya kerugian materi, korban terluka, korban jiwa, ataupun terganggunya pelayanan publik.

5. Jawaban obyektif, profesional, dan proporsional berdasarkan fakta, analisis data dan sintesis atas **“mengapa”** kegagalan dapat terjadi, termasuk penyebab dan mekanisme/prosesnya, merupakan hasil yang ditargetkan untuk dicapai dari suatu *investigasi forensik*.

6. Penetapan siapa yang bertanggung jawab, dan seberapa ganti rugi bagi pihak yang dirugikan tidak menjadi cakupan dalam *investigasi forensik*, namun merupakan kewenangan pengadilan berdasarkan banyak pertimbangan, salah satunya adalah hasil *investigasi forensik*.

7. Perlu dicatat bahwa kegagalan di USA saat *Forensic Engineering* dilahirkan, 1982, adalah 43% akibat kesalahan desain, 36% akibat pelaksanaan / konstruksi, 15% akibat kurang pemeliharaan, dan 6% akibat lain-lain.

8. Diingatkan pula oleh TCFE bahwa potensi kegagalan konstruksi dan kegagalan bangunan akan cukup tinggi frekuensinya pada negara-negara berkembang.

B. KLASIFIKASI JENIS DAN LETAK KEGAGALAN SESUAI KARAKTERISTIK KEGAGALAN.

Kegagalan bangunan secara umum adalah merupakan keadaan bangunan yang tidak berfungsi, baik secara keseluruhan maupun sebagian dari segi teknis, manfaat, keselamatan dan kesehatan kerja dan atau keselamatan umum, sebagai akibat kesalahan penyedia jasa dan atau pengguna jasa setelah penyerahan akhir pekerjaan konstruksi. Jembatan berfungsi sebagai prasarana untuk pergerakan arus lalu lintas.

Dari karakteristik kegagalan dapat ditentukan jenis dan letak kegagalannya.

Klasifikasi jenis jembatan.

1. Klasifikasi menurut kegunaannya:

- a. Jembatan Jalan Raya .
- b. Jembatan Kereta Api.
- c. Jembatan Jalan Air .
- d. Jembatan Jalan Pipa
- e. Jembatan Militer .
- f. Jembatan Penyeberangan

2. Klasifikasi menurut jenis material kayu:

- a. Jembatan Kayu
- b. Jembatan Rangka Baja
- c. Jembatan Beton Bertulang
- d. Jembatan Beton Pratekan

3. Klasifikasi menurut letak lantai jembatan:

- a. Jembatan Lantai Kendaraan Dibawah (LLB)
- b. Jembatan Lantai Kendaraan Diatas (LLA)
- c. Jembatan Lantai Kendaraan Ditengah

d. Jembatan Lantai Kendaraan Diatas dan Dibawah (*Double Deck Bridge*)

4. Klasifikasi menurut bentuk struktur secara umum:

- a. Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)
- b. Jembatan Pelengkung/Busur

5. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*):

- a. Jembatan Portal (*Rigid Frame Bridge*)
- b. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)
- c. Jembatan Cable-Stayed (*Cable-Stayed Bridge*)

6. Klasifikasi menurut bidang yang dipotong:

- a. Jembatan Tegak Lurus
- b. Jembatan Lurus (*Straight Bridge*)
- c. Jembatan Lengkung (*Curved Bridge*)

7. Klasifikasi menurut lokasi:

- a. Jembatan Biasa
- b. Jembatan *Viaduct*
- c. Jembatan Layang (*Overbridge/Roadway Crossing*)
- d. Jembatan Kereta Api

8. Klasifikasi menurut keawetan umur:

- a. Jembatan sementara
- b. Jembatan permanen

9. Klasifikasi menurut tingkat kemampuan/derajat gerak:

- a. Jembatan atap
- b. Jembatan dapat digerakkan

Letak kegagalan Bangunan Konstruksi Jembatan ,sesuai karakteristik kegagalan dari :

1. Bangunan atas

- a. Rangka Baja:

Kriteria : Patah, Roboh, runtuh, akibat tertabrak, akibat bangunan bawah runtuh.

b. Lantai Beton :

Kriteria : berlubang karena mutu beton jelek, runtuh akibat bangunan bawah runtuh, hancur karena banjir.

2. Landasan.

Kriteria: hancur karena beban kendaraan ODOL.

3. Bangunan bawah.

a. Pilar :

Kriteria : Patah, Roboh, Runtuh akibat Tertabrak, terbawa arus, akibat pergerusan.

b. Pylon :

Kriteria: Patah, Roboh, Runtuh akibat Akibat kesalahan pelaksanaan, akibat kesalahan desain, terbakar.

c. Angkur

Kriteria : tercabut akibat pergerakan tanah, kesalahan desain, beban melebihi batas Tarik.

4. Pondasi

a. Tiang Pancang:

Kriteria : Patah, roboh, runtuh akibat ditabrak, tergerus banjir, longsor, abrasi pantai.

b. Tiang Bor :

Kriteria : Patah, roboh, runtuh akibat ditabrak, tergerus banjir, longsor, abrasi pantai.

c. Pile Cap:

Kriteria : patah runtuh akibat ditabrak, terkena longsor, tergerus banjir, akibat pergerusan.

d. Abutment :

Kriteria : Rebah terguling, patah akibat tanah amblas, tanah naik, tanah bergerak, akibat pergerusan.

5.Oprit :

Kriteria : turun / ambles karena kurang padat.

6.Bangunan pengaman jembatan.

Kriteria : rusak karena mutu kurang baik, turun karena longsor.

C. PENYEBAB KEGAGALAN DIANALISIS SESUAI DENGAN HASIL IDENTIFIKASI DAN INVESTIGASI.

1. Analisis penyebab kegagalan bangunan paling sedikit dilaksanakan dengan:
 - a. Membandingkan antara hasil pengujian dengan dokumen kontrak dan data sekunder lainnya yang dikumpulkan;
 - b. Melakukan analisis perubahan lingkungan yang mempengaruhi kegagalan bangunan; dan
 - c. Melakukan analisis tingkat pemenuhan ketentuan standar keamanan, keselamatan, kesehatan, dan keberlanjutan
2. Hasil analisis sebagaimana dimaksud pada analisis kegagalan digunakan sebagai kesimpulan dalam menentukan penyebab terjadinya kegagalan bangunan.

Analisis penyebab kegagalan bangunan.

Bagan alir penyebab kegagalan bangunan seperti dibawah ini:

Bagan alir penyebab kegagalan bangunan :



Contoh analisis penyebab kegagalan sesuai dengan hasil identifikasi dan investigasi di Jembatan Kutai Kartanegara, bentang 470 m (*suspension bridge*), 2011:

1. Komponen gaya horisontal yang berasal dari kabel suspensi yang harus dipikul oleh blok angkur adalah berkisar dari 1.700 – 2.200 ton per ujung kabel suspensi atau total 3.400 – 4.400 ton per blok angkur;
2. Sementara blok angkur yang didukung oleh 80 pondasi tiang pancang diperkirakan memiliki daya dukung lateral maksimum (ultimate) sebesar 80 × 25 ton per tiang, atau total sekira 2.000 ton. Pondasi blok angkur sisi Tenggarong dipancang sedalam 24 meter (*friction pile*), sedang sisi Samarinda dipancang hingga final set 25 mm per 10 pukulan (*end bearing*

pile). Hal ini mengindikasikan daya dukung pondasi blok angkur sisi Tenggara lebih lemah dari pada sisi Samarinda;

3. Akibat kekurangan daya dukung 3.400 – 4.400 ton melawan 2.000 ton maka telah terjadi kegagalan pondasi blok angkur terutama sisi Tenggara yang menyebabkan blok angkur sisi Tenggara bergeser ke arah sisi Samarinda. Pergeseran tersebut berhenti setelah *expansion joint* sisi Samarinda yang bercelah 152 mm mengatup rapat. Akibat pergeseran 15 cm ini di lapangan pada bentang utama telah terjadi *decambering* sebesar sekira 20 cm. Lebih parah nya, pada keadaan ini gaya sisa sebesar sekira 1.400 – 2.200 ton mulai berpindah secara berangsur-angsur dan lambat laun dari blok angkur ke rangka jembatan. Rangka jembatan telah berubah fungsi menjadi batang tekan dan tidak akan pernah mampu memikul gaya tambahan sebesar ini. Hanya persoalan waktu Jembatan Kartanegara akan runtuh: Kegagalan pondasi telah menjadi salah satu penyebab utama keruntuhan tersebut;
4. Keberadaan *tower strap* pada kedua pilonnya telah 'mengunci' gerakan vertikal rangka jembatan. *Tower strap* adalah penyebab terjadinya *stiffness discontinuity*, yang menyebabkan timbulnya momen primer dan sekunder di area pilon. Gerakan *deambering* sebesar sekira 20 cm akibat pergeseran blok angkur dan tambahan sebesar sekira 40 cm akibat bekerjanya beban hidup menjumlah total sekira 60 cm di lapangan bentang utama tidak berhasil didistribusikan secara *smooth* disepanjang bentangnya karena efek 'kunci' di area pilon akibat kehadiran *tower strap*. Hal ini berakibat tumbuhnya gaya tarik tambahan pada batang atas, gaya tarik/tekan tambahan pada batang diagonal, dan gaya tekan tambahan pada batang bawah di area pilon, dan memicu terjadinya instabilitas lokal yang berasal dari putusnya baut-baut sambungan tarik, gagal tarik/tekan batang diagonal, atau tekuk pada batang tekan. Instabilitas lokal tersebut diperkirakan terjadi pada komponen struktur di daerah pilon sisi Tenggara hilir diantara *tower strap* dan *hanger interior* pertama. Instabilitas lokal tersebut merambat secara progresif menjadi instabilitas

global dan telah menyebabkan kegagalan katastrofik. Keberadaan tower strap telah menjadi penyebab utama keruntuhan Jembatan Kartanegara.

Penyebab Keruntuhan Jembatan

- a. keruntuhan dipicu oleh gaya tambahan pd salah satu hanger akibat jacking di tengah bentang saat pemeliharaan.
- b. Sistem sambungan antara ujung atas hanger tsb dengan *main cable* putus akibat gaya hanger yg putus dilimpahkan ke hanger tetangga sehingga sambungan putus satu per satu secara beruntun, jembatan *collapse* dlm 20 detik.
- c. Sistem sambungan lebih lemah dari hanger yang disambung,
- d. Material sambungan getas karena terbuat dari besi tuang
- e. *Stress concentration, fatigue, fracture* akibat lalu lintas , angin
- f. *Simplified structural analysis, detailing* .
- g. *Material quatity control* dari laboratorium test, *manual of maintenance*
- h. *Corrosion, defleksi negative camber, clamp* kendor, hanger miring dan *maintenance*.

Kegagalan Pasca gempa, Perkuatan terlambat, masalah legal Kompleks.



Gambar 1 : Sistim tulangan tidak cukup di Jogjakarta

Identifikasi dan investigasi

1. Pengumpulan permasalahan
2. Penyelidikan/inspeksi lapangan
3. Variabel yg dijadikan dasar penilaian
4. Evaluasi hasil inspeksi lapangan dan verifikasi
5. Laporan final dan kesimpulan

Pengumpulan permasalahan.

Permasalahan, maksud dan tujuan dilakukan investigasi.

Penyelidikan: Pengumpulan informasi melalui wawancara, inspeksi secara langsung, pencarian dokumen, uji beban dsb.

Inspeksi: Pengujian *destructive* dan *non destructive* di lokasi bangunan untuk mengetahui kondisi struktur saat ini .

Pengujian: Uji kualitas material atau uji beban.

Analisis: mengetahui pengaruh aksi terhadap struktur, untuk menentukan penyebab kerusakan yang teramati atau perilaku struktur yang tidak normal

Pembuktian / verifikasi: menetapkan tingkat target kehandalan / kelayakan dan tingkat keamanan yang masih diterima dan realibilitas.

Pengumpulan Permasalahan

1. Dilakukan rehabilitasi dengan menambahkan elemen struktural baru sehingga bebannya melebihi dari rencana semula.
2. Terdapat perubahan penggunaan fasilitas, perubahan operasional, dsb.
3. Dilakukan perbaikan bangunan, akibat adanya gangguan diluar yang diperhitungkan dalam desain dan adanya keraguan terhadap kemampuan struktur yang sebenarnya.
4. Terdapat kenampakan kerusakan bangunan

Penyelidikan untuk Penilaian.

1. Kondisi struktur dan fondasinya sekarang.
2. Jenis bahan struktur fondasi dan kondisi lapisan tanah (diperlukan penyelidikan tanah lagi atau menggunakan data terdahulu).
3. Kerusakan dari hasil inspeksi langsung di lapangan.
4. Pertimbangan kemungkinan gangguan stabilitas fondasi termasuk pengaruh lingkungan.
5. Dokumentasi perancangan yang tersedia ,variabel yg dijadikan dasar penilaian.
6. Pengukuran dimensi elemen struktural terkait dengan fondasi, karakteristik beban (kemungkinan dilakukan penyesuaian besarnya beban). Sifat-sifat material dari hasil inspeksi lapangan .

7. Gambar detail fondasi terpasang (as built drawing)
8. Laporan final dan kesimpulan

Menggunakan hasil investigasi dilakukan analisis struktur dan fondasi.

Dalam analisis, bila struktur fondasi terjadi kerusakan, reduksi kekuatan harus diperhitungkan dalam analisis. Pengurangan kekuatan fondasi diperiksa dari hasil uji lapangan maupun dari hasil analisis.

Form 1 : Berita Acara Hasil Investigasi Kegagalan Bangunan.

BERITA ACARA

CONTOH

HASIL INVESTIGASI KEGAGALAN BANGUNAN

Pada hari ini tanggal bulan tahun yang bertanda tangan di bawah ini:

Tim Penilai Ahli yang dibentuk berdasarkan:

a) Surat Penugasan oleh LPJK

Nomor: Tanggal:

b) Surat Perjanjian Kerja

Nomor: Tanggal:

Atas dasar investigasi yang telah dilakukan terhadap (nama bangunan yang gagal bangunan) yang terdiri atas:

- pengujian terhadap komponen struktur dan nonstruktur bangunan;
- pengujian dengan menggunakan peralatan khusus untuk pengamatan pada komponen struktur bangunan yang sulit dilihat secara visual;
- pengujian terhadap Kegagalan Bangunan dari sisi keruntuhan dan/atau fungsional;

untuk itu didapatkan penetapan awal mengenai jenisKegagalan Bangunan pada(nama bangunan yang gagal bangunan) termasuk pada aspek Kegagalan Bangunan pada jenis..... (keruntuhan bangunan dan/atau fungsional bangunan*)

Demikian Berita Acara ini dibuat dan ditandatangani untuk diketahui bersama.

TIM PENILAI AHLI

PEMILIK/PENANGGUNG JAWAB
BANGUNAN

(.....,,,)

(.....)

BAB. III.

PENGUJIAN STRUKTUR BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN.

A. PENYIAPAN DATA DAN SUMBER DAYA SESUAI DENGAN KEBUTUHAN.

Mengetahui data dan sumber daya sesuai dengan kebutuhan pengujian.

1. Tentukan data yang diperlukan untuk kebutuhan pengujian
2. Tentukan sumber daya yang diperlukan untuk kebutuhan pengujian
3. Buat Rangkuman dari kegiatan diatas.

Kumpulkan data dan sumber daya sesuai dengan kebutuhan pengujian dan siapkan data tersebut untuk kebutuhan pengujian, seperti dibawah ini :

1. Pengujian terhadap komponen structural dan non structural bangunan
2. Pengujian dengan menggunakan peralatan khusus untuk pengamatan pada komponen struktur bangunan yang sulit dilihat secara visual.
3. Pengujian terhadap kegagalan bangunan dari sisi keruntuhan dan / atau fungsional.

Acuan normatif yang diperlukan untuk pengujian struktur bangunan jalan layang dan jembatan, antara lain :

1. Undang-undang Nomor 38 Tahun 2004, tentang Jalan.
2. Undang-undang Nomor 22 Tahun 2009, tentang Angkutan Lalu Lintas Jalan.
3. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006, tentang jalan
4. Peraturan Menteri PU Nomor 11/PRT/M/2010, tentang Tata Cara dan Persyaratan Laik Fungsi Jalan.
5. Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan, Nomor : 004/ BM / 2012, Direktorat Jenderal Bina Marga.
6. SK SNI T-12-2004 , Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
7. SK SNI T-02-2005 , Pembebanan Jembatan.
8. SK SNI T-03-2005 , Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

Didalam pengujian beban jembatan harus memperhatikan aspek-aspek sebagai berikut :

1. Desain dan konstruksi.
2. Lingkungan.
3. Metode yang digunakan.

4. Keselamatan dan kenyamanan.

Aturan pengujian beban pada uji pembebanan struktur jembatan , beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya:

1. Pengujian harus memberikan informasi mengenai kondisi tegangan dan deformasi bagian utama dalam struktur jembatan.
2. Pengujian harus mencerminkan daya dukung beban struktur.
3. Beban uji harus tidak menyebabkan kerusakan struktur.

Tujuan dari pengujian pembebanan jembatan adalah untuk memperoleh kapasitas beban actual jembatan dan menjamin pelayanan yang aman dibawah beban lalu lintas.

Oleh karena itu, pengujian yang dilakukan tidak boleh menyebabkan kehancuran atau kerusakan pada struktur jembatan. Dari pelaksanaan pengujian, tidak menyebabkan kerusakan baru, tidak ada beton terkelupas atau kerusakan lainnya, lendutan maksimum dikontrol dalam rentang yang diijinkan, dan regangan penampang / stress dikendalikan tidak melebihi nilai yang diijinkan.

Kebutuhan sumber daya manusia yang diperlukan, antara lain :

1. Tenaga Ahli, yang dibutuhkan untuk terlibat dalam pelaksanaan pengujian ini setidaknya-tidaknya adalah sebagai berikut :
 - a. Ahli Jembatan.
 - b. Ahli Struktur Beton.
 - c. Ahli Struktur Baja.
 - d. Ahli Instrumentasi
 - e. Ahli Geodesi.
 - f. Ahli Geoteknik.
2. Tenaga Pendukung, merupakan operator yang akan membantu tenaga ahli saat pelaksanaan pengujian di lapangan, antara lain
 - a. Operator Total Station.
 - b. Pengatur kendaraan uji.
 - c. Pemasang peralatan instrument.
 - d. Pelaksana Administrasi.

- e. Pengaman jembatan (dibantu Dinas terkait).
- f. Pembantu umum.

Peralatan *Investigasi Forensic Engineer*

Material Test

1. *Non Destructive Test (NDT)* dilakukan langsung di lokasi dengan mekanis, optis, kimia, *elektromagnetis, ultrasonik, dinamis, termal*.
2. *Semi destructive* dengan *core samples* melalui *Laboratory Tests* dengan mekanis, optis, kimia, *elektromagnetis, ultrasonik, dinamis, termal*.
3. *Structural Test* secara langsung di lokasi.
4. *Static Loading Test* dengan respons dimonitor selama 24 jam.
5. *Dynamic Loading Test* dengan *impact, cyclic, mechanical exiter*.

Tahapan Investigasi Forensik.

1. Pengumpulan informasi (dari berbagai sumber), referensi & data sekunder terkait.
2. Mempelajari dan merumuskan (tentative) permasalahan, hipotesis awal, data sekunder yg perlu dimintakan/dicari (*DED, As Built Drawing*, dokumen QA / kendali mutu, *soil investigation*, uji beban di lapangan, foto-foto dokumentasi saat pelaksanaan, arsip *procurement* dsb).
3. Segera ke lapangan dengan survei visual (bawa *portable NDT* / instrumentasi / *equipment*).
4. Observasi obyek yang diinvestigasi dan kondisi sekitar dengan *detective skill* untuk menemukan fakta-fakta lapangan.
5. Pengumpulan data sekunder tambahan, sesuai butir 2 dan sesuai perkembangan observasi lapangan.
6. Meeting secara terpisah dengan : satuan kerja, *core team*, konsultan perencana, kontraktor pelaksana, pengawas, dan saksi-saksi mata.
7. Pengambilan data primer (uji material dengan NDT langsung di lokasi, pengambilan sampel material untuk diuji di Laboratorium, data *degradasi* material / struktur yg terjadi, foto-foto fakta lapangan, perubahan desain bila ada, pengukuran dimensi, dan sejenisnya).

8. Analisis data hasil uji NDT dan uji sampel di Laboratorium.
9. Analisis, pembahasan, sintesis dan perumusan penyebab kegagalan bangunan / tidak berfungsinya bangunan berdasarkan fakta dan data primer, dibantu hasil observasi, data sekunder dan hasil wawancara dengan semua unsur yang terlibat maupun dengan saksi mata.
10. Apabila diperlukan data primer atau sekunder tambahan, perlu dilengkapi terlebih dahulu, dan melakukan analisis, pembahasan dan sintesis lanjutan.
11. Pengambilan kesimpulan & penulisan Laporan Penilaian Kegagalan Bangunan.

Peran *Forensic Engineering* dalam mitigasi bencana dan pembangunan infrastruktur berkelanjutan.

Lingkup *Forensic Engineering* meliputi :

1. investigasi teknis atas kegagalan konstruksi/bangunan,
2. menetapkan penyebab terjadinya kegagalan konstruksi/bangunan,
3. evaluasi, asesmen teknis, analisis, sintesis kesehatan infrastruktur eksisting,
4. pendapat ahli dan kesaksian ahli di pengadilan, bila diperlukan.

Kegagalan konstruksi/bangunan (*structural failure*) dapat berupa :

1. keruntuhan struktur, yang mengindikasikan persyaratan kekuatan/*strength* dan/atau *stability* tidak terpenuhi,
2. *unacceptable difference* antara kinerja struktur yang direncanakan dengan yang aktual,
3. kinerja struktur yang buruk (*deficient performance*) sehingga *serviceability* terganggu,
4. kerusakan yang terlalu dini/tidak normal (masalah *durability*), dan
5. *deformasi* berlebihan (masalah *degradasi stiffness*),

Peran *Forensic Engineering* dalam mitigasi bencana di Indonesia.

1. Jenis bencana alam yang sering terjadi di Indonesia : gempa bumi, tsunami, longsor, gerakan tanah, gunung berapi, banjir, topan, kekeringan, dan kebakaran.

2. Berbagai hasil *investigasi forensic* atas kegagalan bangunan Teknik Sipil akibat gempa bumi dan tsunami, telah banyak terungkap dan terdokumentasi penyebab kegagalannya, yang kesemuanya dapat menyempurnakan dan melengkapi pengetahuan tentang perancangan struktur tahan gempa, dan penyempurnaan SNI terkait.
3. Pengetahuan tentang perancangan struktur tahan gempa dan SNI terkait didesiminasikan dalam forum seminar, diajarkan dalam perkuliahan, disampaikan dalam pelatihan-pelatihan profesi, mendasari penataan ruang, maka Forensic Engineering telah berperan nyata dalam mitigasi non-struktural.
4. SNI yang telah disempurnakan yang didasari oleh pengetahuan tentang struktur tahan gempa digunakan dalam perancangan dan pembangunan infrastruktur baru maupun rehabilitasi struktur eksisting yang terdampak oleh gempabumi, sehingga bangunan yang dihasilkan menjadi lebih tahan gempa, sehingga mengurangi risiko bencana bagi masyarakat, maka Forensic Engineering telah berperan nyata dalam mitigasi struktural.
5. Kontribusi serupa (mitigasi non-struktural dan struktural) juga dijumpai pada pemanfaatan hasil investigasi forensik atas penyebab bencana tanah longsor, gerakan tanah, penanggulangan bahaya sekunder gunung berapi, pengendalian banjir, kekeringan, dan kegagalan bangunan akibat angin topan ataupun akibat kebakaran.

Peran *Forensic Engineering* dalam pembangunan infrastruktur berkelanjutan.

6. Berbagai hasil investigasi forensik atas kecelakaan konstruksi dan kegagalan bangunan Teknik Sipil, baik kejadiannya pada saat konstruksi maupun setelah dioperasikan, telah banyak terungkap dan terdokumentasi penyebab kegagalannya, yang kesemuanya dapat menyempurnakan dan melengkapi pengetahuan tentang perancangan struktur, dan penyempurnaan SNI terkait, untuk kegagalan serupa tidak terulang lagi di kemudian hari.
7. Kompetensi *Forensic Engineer* dalam melakukan asesmen teknis bangunan eksisting dengan peralatan investigasi NDT untuk menilai status kesehatan infrastruktur (apakah kelima aspek sehatnya : *strength, stiffness, serviceability, stability, dan durability*) telah mengalami degradasi masih terpenuhi atau tidak,

dan kompetensi tentang material dan teknik repair, mampu mencegah terjadinya kegagalan bangunan diusia dini.

8. Dengan mengetahui tingkat kesehatan infrastruktur, program pemeliharaan dapat dirancang secara optimal, dan saat-saat yang tepat untuk melaksanakan perbaikan/repair dapat diprogramkan secara tepat dan tidak terlambat. Infrastructure management system akan dapat terimplementasi dengan baik, sehingga menjamin tercapainya usia layan rencana, atau bahkan mampu memperpanjang life time infrastruktur, yang merupakan unsur terpenting dari sustainability.

9. Implementasi pelaksanaan sertifikasi SLF secara periodik juga sangat terdukung oleh kompetensi *Forensic Engineering*.

Berbagai kasus kegagalan saat konstruksi dan kegagalan bangunan di Indonesia menyadarkan kita akan pentingnya profesionalisme dalam tahap : *design, construction, supervision, operation & maintenance , monitoring & evaluation*.

10. Melalui *Forensic Engineering* penyebab kegagalan saat konstruksi dan kegagalan bangunan, baik saat pelaksanaan maupun masa pengoperasian dapat diinvestigasi.

11. Hasil *investigasi forensic* dapat menjadi pelajaran yang sangat berharga untuk tidak terulang pada masa yang akan datang.

B. PELAKSANAAN PENGUJIAN STRUKTUR BAWAH DAN ATAS SESUAI DENGAN PROSEDUR.

Pelaksanaan pengujian dilaksanakan idealnya pada saat jembatan belum dioperasikan atau baru diserahkan terimakan. Hal ini diperlukan selain untuk mendapatkan tujuan dari pelaksanaan pengujian, juga untuk menghindari adanya

masalah keterbatasan waktu pengujian jika jembatan telah beroperasi, karena dibutuhkan adanya penutupan jembatan.

Pengujian dilaksanakan pada lokasi yang ingin diketahui kondisinya atau lokasi yang diperkirakan merupakan lokasi yang kritis dari jembatan.

Jadwal pengujian dibuat berdasarkan rencana kerja yang akan dilaksanakan, dimulai dari kegiatan persiapan di lapangan, seperti koordinasi awal, pemasangan alat, pelaksanaan pengujian hingga penyimpanan alat / pelepasan alat di lapangan.

Pelaksanaan pengujian struktur bawah antara lain.

Pengujian dilakukan secara bertahap sesuai dengan perencanaan, dimana pemberian beban dilakukan dari pembebanan terkecil hingga maksimal agar dapat dilihat penambahan pengaruh beban serta perilaku jembatan tersebut.

Tahapan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Persiapan,

a. Persiapan Teknis ,beberapa hal yang perlu dilaksanakan dalam persiapan teknis ini diantaranya :

- 1) Kumpulkan gambar dan dokumen perencanaan.
- 2) Lakukan komunikasi (diskusi) dengan perencana jembatan yang akan diuji serta pelaksana konstruksi untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi desain, dan konstruksi jembatan sehingga dapat lebih mudah dalam memprediksi perilaku jembatan.
- 3) Lakukan kajian pada gambar dan dokumen perencanaan terkait dengan analisa struktur dan pemodelan jembatan.

b. Persiapan Administrasi, mencakup penyelesaian surat menyurat dan perijinan dilokasi pengujian. Proses perijinan ini melibatkan Dinas Pekerjaan Umum, Dinas Perhubungan dan Kepolisian setempat. Jenis surat yang perlu disiapkan diantaranya :

- 1) Surat Permohonan Ijin Pelaksanaan Pengujian.
- 2) Surat Permohonan Kerjasama Pelaksanaan Pengujian.

2. Pengujian Lapangan, berupa antara lain :

a. Pemeriksaan Visual, bertujuan untuk :

- 1) Mendefinisikan permasalahan yang ada di lapangan.
- 2) Mendapatkan informasi mengenai tingkat layanan (*serviceability*) dari komponen struktur (seperti lendutan).
- 3) Memeriksa apakah gambar pelaksanaan sama dengan kondisi eksisting.

Tahapan yang dilaksanakan pada pemeriksaan visual, antara lain :

- 1) Lakukan pemeriksaan kondisi umum jembatan.
- 2) Lakukan pemeriksaan retak dengan alat Pundit atau UPV dan alat pengukur retak.
- 3) Lakukan pengujian tekan yang lebih akurat mengenai kekuatan tekan beton.

Dari hasil pemeriksaan visual ini, dapat dituangkan dalam proposal pengujian pembebanan yang didalamnya berisi penentuan jumlah beban dan pemodelan pengujian dengan sudah mempertimbangkan jika terdapat kerusakan yang telah terjadi pada jembatan.

b. Pengujian Beban Statis, bertujuan untuk :

- 1) Mengetahui perilaku dari struktur jembatan dalam menerima beban kendaraan berat (truk) statis di atasnya.
- 2) Mengetahui perilaku lendutan gelagar, serta perilaku pendistribusian beban kendaraan pada gelagar.
- 3) Memperoleh data utama yang akan digunakan, untuk menganalisis dan mengevaluasi secara detail dan mendalam tentang kondisi struktur jembatan yang ada.
- 4) Membandingkan perilaku nyata jembatan dengan model teoritisnya, yang diasumsikan pada proses perancangan atau pada analisa teoritis yang dilakukan sebelum pengujian lapangan.
- 5) Menguji ketepatan pelaksanaan jembatan.

Tahapan pengujian antara lain :

- 1) Persiapan perencanaan (di kantor) untuk perhitungan jumlah beban dan konfigurasi truk yang digunakan dan persiapan pelaksanaan (di lapangan).
- 2) Pelaksanaan pengujian, pengujian beban *loading unloading*.

Mengingat tugas Penilai Ahli melakukan penilaian terhadap Kegagalan Bangunan setelah Penyerahan Akhir maka:

1. Investigasi pasti dilakukan terhadap mutu beton yang telah pernah diterima:
2. Investigasi harus diarahkan pada:
 - a. kekuatan beton/mutu(*strength*);
 - b. keseragaman;
 - c. keawetan (*durability*) akibat pengaruh waktu, lingkungan,
 - d. kemungkinan adanya perubahan fungsi bangunan
3. Kemungkinan adanya *force mayor*.

Pengujian Beton Inti, jika kekuatan beton diragukan atau bila disyaratkan oleh dokumen kontrak, beton inti harus diambil, dikondisikan kelembabannya, disiapkan dan diuji sesuai ASTM C42/C42M, kecuali disyaratkan lain.

C. PENCATATAN HASIL PENGUJIAN SEBAGAI BAHAN LAPORAN.

Pencatatan hasil pengujian sebagai laporan, dipergunakan sebagai *back up* data laboratorium bahwa kualitas mutu yang dipersyaratkan dalam spesifikasi telah dilaksanakan sesuai dengan ketentuan , juga hal ini dipergunakan sebagai cara mengetahui hasil pengujian sebagai bahan laporan didapat dari hasil pengujian laboratorium yang dilaksanakan berdasar pengamatan kegagalan jalan layang dan jembatan.

Sebagai contoh : Pengambilan sampel dan test tekan *core drill* beton.

Menggunakan alat : mesin *core drill* beton *Universal Testing Machine (UTM)*.

Standar : ASTM, Britis Standar dan SNI.



Gambar 2 : Core drill beton di lapangan



Gambar 3 : Hasil test silinder beton.

CORE LOG SHEET

Project :							
Date :	18-1-16						
Inspector :							
Struktur :	Pelat						
Code :	CD-3 / P118-119						
Core storage :	Vertical						

SKETCHES (all dimensions in mm). Note photo refs.

Side 1 :

Side 2 :

Top

Bottom

Core Dimensions (mm)			Through Core	Cracks or delaminate Depth from coring face	Reinforcement			
Diameter	Length				Cover (mm)	Size (mm)	Orientation	Condition
	max	min						
94	210	209			16 19			

COMMENT ON CORE

Gambar 4 : Core Log Sheet.

Penerimaan kuat tekan beton benda uji *Core drill* :

Kekuatan Beton daerah yang mewakili hasil uji beton, dinilai memadai bila kuat tekan rata-rata beton inti minimal 85 % dari f_c' dan jika tidak ada satu pun beton inti yang kurang 75 % dari f_c' .

1. Arah pengambilan sampel.

Tabel 1. Faktor koreksi akibat arah pengambilan sampel.

Arah pengambilan benda uji Beton inti	Faktor koreksi
Horisontal (tegak lurus pada arah tinggi dari struktur beton)	1
Vertikal (sejajar dengan arah tinggi dari struktur beton)	0,92

2. Faktor koreksi kekuatan silinder berdasarkan L/D.

Tabel 2 : Faktor koreksi akibat ratio panjang dan diameter (L/D).

Ratio panjang dan diameter (L/D)	Faktor Koreksi
2	1
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

BAB. IV

PEMERIKSAAN NON STRUKTUR BANGUNAN JALAN LAYANG DAN JEMBATAN.

A. PENGIDENTIFIKASIAN ALINYEMEN VERTIKAL DAN HORIZONTAL GEOMETRIK JALAN LAYANG DAN JEMBATAN SESUAI DENGAN FUNGSI LAYANAN.

Alinyemen vertikal dan horizontal geometrik jalan layang dan jembatan sesuai dengan fungsi layanan.

Alinyemen vertikal didefinisikan sebagai proyeksi sumbu jalan pada bidang vertikal, berbentuk penampang memanjang jalan.

Alinyemen vertikal disebut juga penampang memanjang atau profil jalan. Desainer perlu menetapkan desain alinyemen vertikal sebagai transisi antara elevasi jalan diantara dua buah kelandaian. Secara umum dibedakan antara lengkung vertikal cembung dan lengkung vertikal cekung.

Horizontal geometrik didefinisikan sebagai proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal, berbentuk penampang memanjang jalan. Horizontal geometrik disebut juga penampang memanjang atau profil jalan.

Sehingga Alinyemen Vertikal dan Horizontal Geometrik Jalan Layang dan Jembatan harus disesuaikan dengan fungsi layanan dan kenyamanan serta mengikuti standar perencanaan geometric jalan dari Bina Marga yang disesuaikan dengan peruntukan dari fungsi layanan jalan itu sendiri.

Kegiatan di bidang geometrik mencakup perencanaan alinyemen baik vertikal maupun horizontal. Semua besaran dari elemen elemen geometrik sangat tergantung dari kelas jalan tersebut yang akan mempengaruhi besaran kecepatan rencana (*design speed*).

Dengan demikian kegagalan di bidang ini dapat berupa :

1. Lebar lajur lalu lintas yang terlalu sempit,
2. Jari jari tikungan yang terlalu kecil,
3. Jarak pandang (henti dan menyiap) terlalu pendek,

4. *Superelevasi* yang tidak memadai,
5. Landai kritis yang terlalu besar,
6. *Cross fall* yang tidak memenuhi syarat,
7. Bahu yang terlalu sempit,

B. PENGUJIAN GEOMETRIK STRUKTUR BANGUNAN TERHADAP KEAMANAN, KENYAMANAN DAN KESELAMATAN.

Cara menguji geometrik struktur bangunan terhadap keamanan, kenyamanan dan keselamatan, antara lain :

Lebar perkerasan adalah lebar bersih yang diukur tegak lurus terhadap sumbu jalan diantara dasar kereb.

Bila tidak terdapat kereb, lebar adalah jarak minimum yang diukur antara muka pembatas jembatan.

Lebar trotoar adalah jarak bersih yang diukur tegak lurus terhadap sumbu jalan, dari sisidalam railing menuju dasar kereb. Apabila terdapat rangka, gelagar, dinding, atau railing diantara trotoar dan jalan, lebar trotoar diukur terhadap sisi luar trotoar komponen tersebut. Kereb atau penghalang pada jembatan harus segaris dengan kereb atau penghalang pada jalan pendekat jembatan.

Kemiringan melintang, superelevasi dan/atau pelebaran tikungan pada lantai jembatan harus sesuai dengan jenis perkerasan jalan yang ditetapkan instansi yang berwenang, dan harus sesuai dengan perkerasan pada jalan pendekat

Penyebab keruntuhan struktur baja / jembatan, antara lain :

1. Perencanaan teknis tidak memenuhi kaidah baku, sekali kita melakukan perhitungan teknis sesuai kaidah berlaku, dan bangunan atau jembatan akan tetap berdiri.
2. Perencanaan teknis tidak sesuai dengan pemanfaatan, Jembatan dengan sistem gelagar melintang seperti pada jembatan rangka (*warren truss*) akan mengalami peningkatan pembebanan melebihi asumsi standar perencanaan apabila terjadi perubahan.
3. Perencanaan teknis tidak sesuai dengan beban rencana (ODOL illegal). Jembatan dirancang dengan konsep pembebanan rencana dan kapasitas elemen struktur jembatan dengan pendekatan probabilitas kejadian selama umur rencana.
4. Perencanaan teknis dibandingkan Pemeliharaan.
Desain sesuai standar namun pemanfaatannya kurang ditunjang dengan pemeliharaan yang baik (permukaan jembatan belubang dan beberapa elemen jembatan yang tidak berfungsi sesuai rencana seperti *bearing* atau landasan yang macet).
5. Keruntuhan Fatik, Keruntuhan akibat kelelahan baja (*fatik desain*)
Keruntuhan akibat kelelahan baja (*fatik desain*) dapat terjadi atau batas rencana tegangan menurun signifikan akibat fatik desain yang tidak sesuai rencana.
6. Kegagalan lainnya kebakaran, pemanfaatan illegal kolong jembatan dan hal-hal lain yang dikarenakan kelalaian manusia.

Permasalahan struktur Alat Bantu Konstruksi (ABK) yang standar.

1. Faktor keamanan : semua peralatan yang digunakan pada saat pelaksanaan konstruksi jembatan, harus memenuhi persyaratan dan kehandalan (reabilitas) untuk dipakai terutama terkait dengan faktor keamanan (*safety faktor*).
2. Keseragaman Merk dan Type.

Untuk memudahkan koordinasi antar operator dan sinkronisasi dalam melakukan suatu pekerjaan. Hal ini juga sangat menentukan hasil kinerja yang baik.

3. Penggunaan tidak sesuai SOP.

Menyebabkan perilaku konstruksi bantu tidak sesuai rencana , misalnya terkait faktor tekuk batang tekan dari perancah. Gagalnya dalam pemasangan pengaku atau bracing dapat menyebabkan kapasitas tidak dapat dicapai sesuai katalog yang disediakan oleh pabrikan alat bantu perancah.

4. Penumpukan barang tidak teratur.

Menyebabkan beban yang diangkat tidak terkontrol ,sehingga dapat menyebabkan alat bantu angkat seperti *Tower Crane* (operator berada diatas tower) mengangkat beban lebih berat dari yang direncanakan.

Permasalahan struktur Alat Bantu Konstruksi (ABK) yang spesifik.

1. Perhitungan teknis struktur ABK.

Kesalahan dalam membuat model struktur dengan bantuan aplikasi teknis untuk melakukan perhitungan atau analisa struktur sering terjadi, apalagi dilakukan secara internal kontraktor. Pihak kontraktor dapat meminta advis dari konsultan ahli. Dalam praktek kontruksi di Indonesia dilakukan oleh *Construction Engineering Service (CES)* yang tugasnya membantu kontraktor dalam menentukan besaran gaya prategangnya yang harus diberikan setiap segmen jembatan di *ereksi*.

2. Modifikasi perancah.

Keuntungan pembangunan konstruksi berbasis tipikal ini dapat membangun pengalaman atau *learning curve* pada pekerjaan menjadi lebih cepat matang dan tentu akan membangun kepercayaan diri yang lebih tinggi. Namun hal ini dapat mengarah pada kelengahan jika tidak dilakukan langkah mitigasi yang , sesuai agar tidak menjadi jebakan untuk berinovasi (*technology trap*).

Gagal Bowstring



Gambar 5 : Runtuh akibat gagal Bowstring

Perubahan Arah Lalin



Gambar 6 : Runtuh akibat perubahan arah Lalu Lintas

ODOL - Illegal



Gambar 7 : Runtuh akibat kendaraan *Over Dimension dan Over Leght (ODOL)*

Abai Pemeliharaan



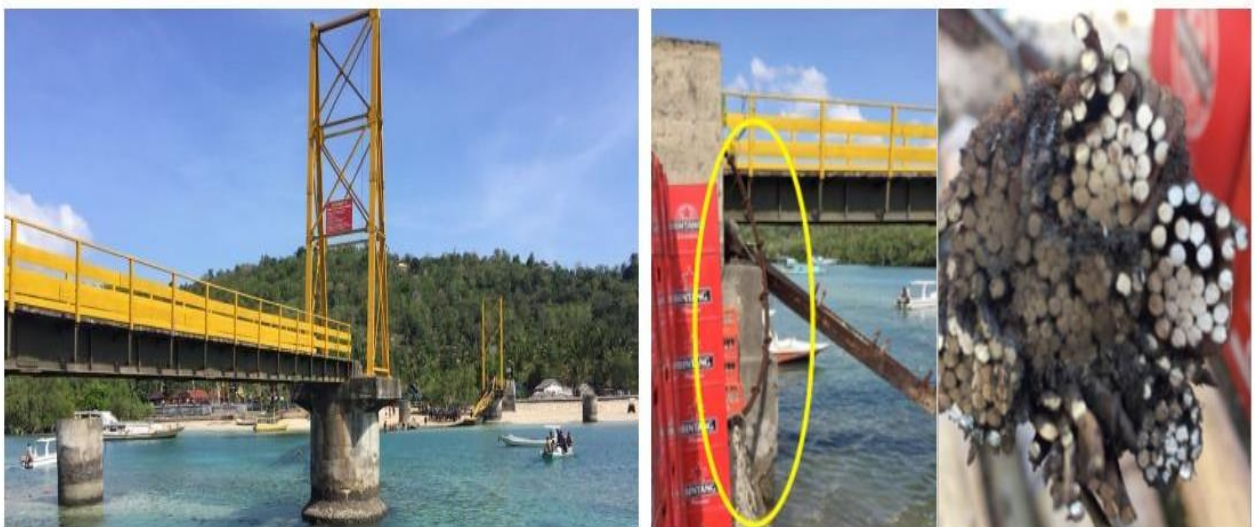
Gambar 8 : Tidak ada pemeliharaan sehingga jalan rusak di atas jembatan.

Abai Pemeliharaan



Gambar 9 : Tidak ada pemeliharaan sehingga rangka jembatan kropos

Minim Pemeliharaan



Gambar 10 : Karena minimnya pemeliharaan sehingga jembatan runtuh

Kebakaran



Gambar 11 : Akibat kebakaran kendaraan diatas jembatan sehingga jembatan runtuh.

Banjir dan *scoring*.

1. Suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh *morfologi* sungai (berupa tikungan / bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*hydraulic structur*) seperti: jembatan, bendung, pintu air.
2. *Scouring* terjadi secara vertikal dan horizontal.
Keduanya menyebabkan tanah fondasi kehilangan interaksi dalam menciptakan daya dukung fondasi yang direncanakan. Kehilangan daya dukung fondasi menyebabkan keruntuhan bangunan bawah jembatan dan keruntuhan jembatan keseluruhan (kegagalan bangunan).



Gambar 12 : Jembatan Runtuh akibat Banjir dan Scoring



Gambar 13 : Jembatan Runtuh akibat Banjir dan Scoring



Gambar 14 : Jembatan Runtuh saat Pemeliharaan.

BAB. V

PENGIDENTIFIKASIAN TEKNOLOGI YANG DITERAPKAN.

A. PENGUMPULAN TEKNOLOGI , METODA KERJA, MATERIAL, DESAIN SESUAI JENIS DAN KARAKTERISTIK KEGAGALAN.

Metoda konstruksi terpenting dalam konstruksi jembatan juga sangat bervariasi dan sangat ditentukan oleh banyak pertimbangan, antara lain:

1. Kondisi medan,
2. Tipe alat yang telah dimiliki,
3. Kondisi akses menuju ke lokasi proyek,
4. Pertimbangan lalu lintas lama,
5. Tipe material dan struktur jembatan yang digunakan, apakah baja atau beton.
6. Pertimbangan waktu pelaksanaan sangat ditentukan oleh banyak pertimbangan, antara lain:
 - a. Kondisi medan,
 - b. Tipe alat yang telah dimiliki,
 - c. Kondisi akses menuju ke lokasi proyek,
 - d. Pertimbangan lalu lintas lama,
 - e. Tipe material dan struktur jembatan yang digunakan, apakah baja atau beton.
 - f. Pertimbangan waktu pelaksanaan

Code / Standar Struktur Baja Tahan Gempa Modern pada masa setelah gempa Northridge (1994).

Bangunan baja tahan gempa sesuai SNI 7860:2020 atau AISC 341-16 harus pakai sambungan prakualifikasi. Kecuali tipe sambungan yang telah memenuhi (lolos) kriteria uji empiris berdasarkan code tersebut.

Ini membatasi kreatifitas para insinyur, jika tidak memahami latar belakang mengapa ketentuan ini dibuat, para insinyur bisa mengabaikan, itulah alasan mengapa materi ini perlu disampaikan.

Baja, material daktail, sifat unggul untuk atasi gempa.

Mengapa ketika jadi struktur baja, tidak secara otomatis unggul juga terhadap gempa.

Bangunan semakin banyak, semakin tinggi, semakin besar dan dibangun di daerah yang berisiko gempa tinggi.

Fakta menunjukkan bahwa meskipun baja adalah material konstruksi yang paling daktail, ternyata banyak yang rusak ketika terjadi gempa besar.

Alasan ini mendorong peraturan baja tahan gempa diperbaharui.

Pendapat lama yang ternyata terbukti tidak selalu benar.

Tradisionil, baja adalah material kekuatan tinggi, perilaku keruntuhannya daktail.

Tidak ada material konstruksi lain yang menyamai.

1. Karena daktail, maka diyakini konstruksi baja secara alami mempunyai sifat tahan gempa, sehingga tanpa perlu detail atau perlakuan khusus.
2. Kondisi berbeda dibanding konstruksi beton yang merupakan gabungan dengan material non daktail sehingga perlu detail penulangan khusus.

Karakter khas (kelebihan dan kekurangan) struktur baja

1. Material baja buatan pabrik, mutunya terjamin konsisten.
2. Ukuran terbatas, bentuk elemen relatif kecil dan terpisah.
3. Perlu dirangkai dengan sambungan untuk jadi bangunan.
4. Sistem sambungan yang handal adalah baut mutu tinggi dan las.

Gempa Northridge (1994), pemicu cara perencanaan baru.

Bahwa struktur baja secara alami daktail adalah pasti tahan gempa adalah diragukan atau tidak bisa lagi dipercaya.

1. Laporan FEMA-350 (2000), dampak gempa bumi Northridge (USA), 17 Januari 1994, mengubah semua keyakinan tadi. Setelah gempa, banyak bangunan struktur baja yang dulunya dianggap tahan gempa ternyata mengalami kerusakan getas pada sambungan balok dan kolom.
2. Bangunan yang rusak merata, satu lantai sampai banyak tingkat, dari usia bangunan 30 tahun sampai konstruksi yang baru selesai dibangun sesaat sebelum gempa terjadi. Bangunan yang rusak juga tersebar pada suatu

daerah geografi yang cukup luas, bahkan terjadi pada daerah yang dianggap hanya menerima gempa sedang.

Kerusakan getas pada konstruksi baja

1. Meskipun jumlah bangunan di daerah gempa tinggi relatif sedikit, tetapi kerusakan yang dialami cukup intensif.
2. Penemuan kerusakan getas rangka bangunan yang tidak terantisipasi, juga terjadi pada bangunan dengan kerusakan arsitektural relatif kecil.
3. Itu jadi kekuatiran semua pihak, khususnya insinyur dan kontraktor bangunan, jangnan-jangan bangunan lain yang terlihat tidak rusak pada kenyataan yang sebenarnya adalah telah rusak. Penyelidikan selanjutnya membuktikan bahwa beberapa bangunan yang pernah mengalami gempa Landers (1992), Big Bear (1992) dan Loma Prieta (1989), mengalami kerusakan serupa.

Biaya investigasi dan perbaikan yang mahal.

1. Padahal secara umum, bangunan baja yang mengalami kerusakan gempa Northridge, telah memenuhi kriteria dasar code tahan gempa yang ada. Kerusakan memang belum menyebabkan bangunannya runtuh. Tetapi struktur bangunan tidak berperilaku sebagaimana yang diharapkan dan kerugian ekonomi terjadi akibat kerusakan sambungan, bahkan beberapa kasus terjadi akibat gempa relatif kecil dari gempa rencana.
2. Kerugian akibat biaya langsung (investigasi dan *retrofit* sambungan), biaya tidak langsung karena proses perbaikan, atau kerugian jangka panjang akibat perubahan fungsi ruang pada daerah yang rusak.

B. ANALISIS TEKNOLOGI , METODA KERJA,MATERIAL,DESAIN SESUAI DENGAN PROSEDUR OPERASIONAL STANDAR (POS) / NORMA STANDAR PEDOMAN DAN MANUAL (NSPM).

Analisis Teknologi Jembatan yaitu salah satunya berupa Teknologi berbasis Komputer.

Simulasi perilaku struktur untuk perencanaan atau evaluasi struktur, melibatkan pengolahan data numerik, mulai yang sederhana sampai kompleks, baik di segi kuantitas atau kualitas- nya. Untuk itu, mau tidak mau sekarang ini harus mengandalkan teknologi berbasis kompu- ter, khususnya piranti lunak rekayasa untuk dijadikan *tool*/penting seorang insinyur.

Jika digunakan dengan benar, pemakaian komputer dengan piranti lunak rekayasanya dapat memberikan solusi permasalahan secara presisi, tepat dan cepat, khususnya yang melibatkan jumlah variabel numerik yang besar. Jika masalah numerik tidak lagi menjadi kendala, maka tentu dapat dibuat berbagai model numerik yang lebih mendekati kondisi real, yang berarti estimasi yang dibuat akan semakin tepat. Jika demikian maka tindakan yang menyertainya kemudian tentunya akan semakin efektif pula. Akhirnya konstruksi bangunan rencana atau yang dievaluasi akan dapat semakin andal, sesuai dengan harapan.

Komputer dan *Code* Perencanaan.

Simulasi numerik perilaku struktur bagi insinyur tentu saja adalah analisis struktur. Untuk menangani problem yang relatif besar dan kompleks maka pemakaian piranti lunak rekayasa khusus berbasis komputer adalah keharusan, agar dapat diselesaikan secara cepat dan teliti.

Tentu saja ketelitiannya, sesuai model yang dibuat. Jika modelnya sederhana maka keluaran hasilnya juga relatif sederhana. Pembuatan model struktur, bila tidak ada ketetapan khusus atau *code* maka akan banyak variasinya, tergantung piranti lunak yang dipakai, kebiasaan, kemauan, dan yang lebih penting kemampuan insinyur yang mengerjakannya. Masalahnya, menentukan model dan strategi paling tepat untuk dipilih, belum tentu terjawab tuntas. Jadi, pembahasan akan dimulai dari yang tertulis pada *code*, karena ada landasan hukumnya.

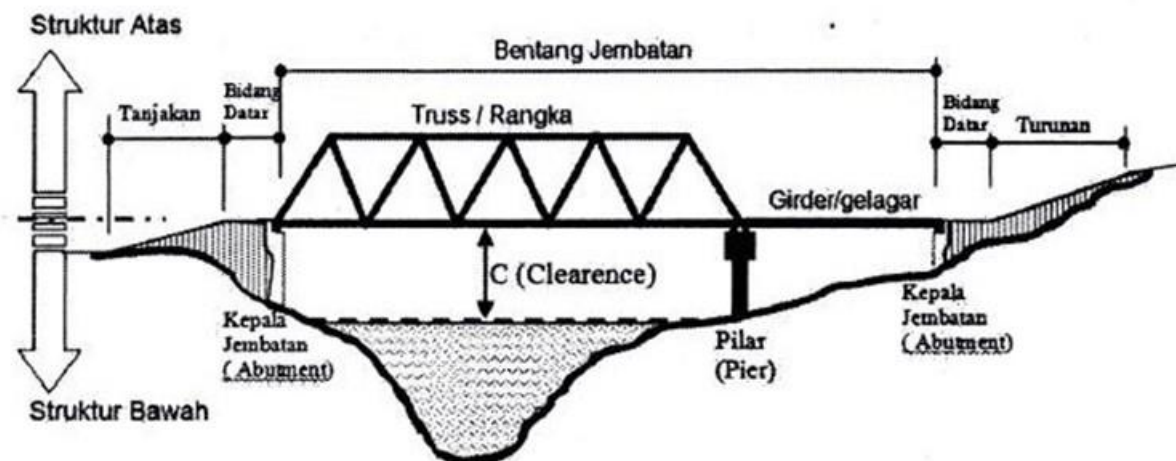
Adapun *code* yang dipilih, dimulai dari konstruksi jembatan, karena dianggap masalahnya cukup kompleks dan sesuai dengan topik yang didiskusikan.

Peraturan perencanaan teknik jembatan di Indonesia (BMS 1992) adalah rujukan utama para insinyur jembatan di Indonesia. Pada kata pendahuluan tentang analisa struktur, peraturan menyatakan sebagai berikut :

1. Cara analisis **elastis linier** tingkat pertama disarankan karena bersifat **konservatif**, ada- pun cara elastis linier tingkat kedua diutamakan untuk rangka portal tidak terikat (portal bergoyang). Cara plastis hanya dipahami dan dipakai untuk kasus yang sederhana saja.
2. Ada pengertian bahwa perilaku struktur jembatan adalah rumit, hingga perlu perhitungan matematik canggih, yang **diolah komputer** memakai piranti lunak rekayasa yang sesuai. Ada pemahaman, jika memakai cara manual maka sifatnya harus lebih konservatif.
3. Meskipun telah digunakan komputer dan piranti lunak yang sesuai, tetapi disyaratkan harus diawasi oleh ahli teknik perencanaan yang **berkualifikasi** dan **berpengalaman**, serta punya **kualifikasi akademis** sesuai bidang, lulusan universitas atau lembaga setara yang diakui formal. Pengalaman minimal 4 tahun bidang perencanaan dan pelaksanaan jembatan, dan sekurang-kurangnya 2 tahun bidang perencanaan.
4. Cara analisis yang diijinkan adalah cara *elastis-linier*, tidak linier, plastis dan sederhana.

Metode Kerja untuk konstruksi jembatan.

Bagian-bagian struktur utama dari konstruksi jembatan adalah struktur pondasi, struktur abutment, struktur pilar, struktur lantai jembatan, struktur kabel, dan struktur oprit. Bagian metoda konstruksi terpenting dalam konstruksi jembatan adalah proses erection lantai jembatan, dimana banyak metoda dimungkinkan untuk melakukan erection tersebut.



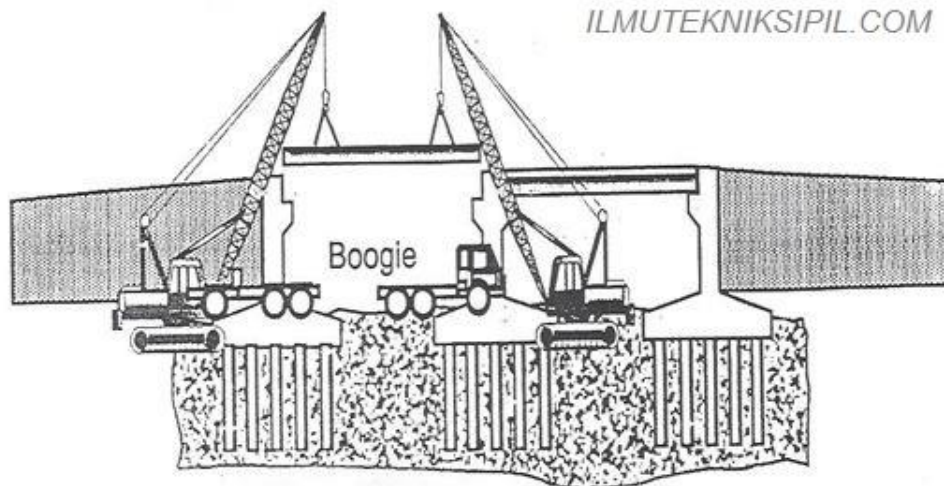
Gambar 15 : Bentuk dari Jembatan

Adapun metoda konstruksi terpenting dalam konstruksi jembatan juga sangat bervariasi dan sangat ditentukan oleh banyak pertimbangan, antara lain:

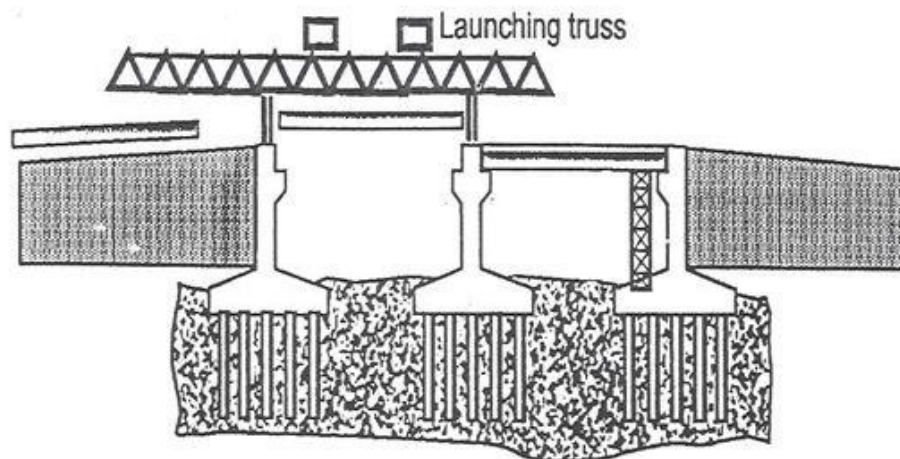
1. Kondisi medan,
2. Tipe alat yang telah dimiliki,
3. Kondisi akses menuju ke lokasi proyek,
4. Pertimbangan lalu lintas lama,
5. Tipe material dan struktur jembatan yang digunakan, apakah baja atau beton.
6. Pertimbangan waktu pelaksanaan.

Berikut adalah beberapa tipe metoda erection lantai jembatan yang umumnya digunakan untuk berbagai konstruksi jembatan :

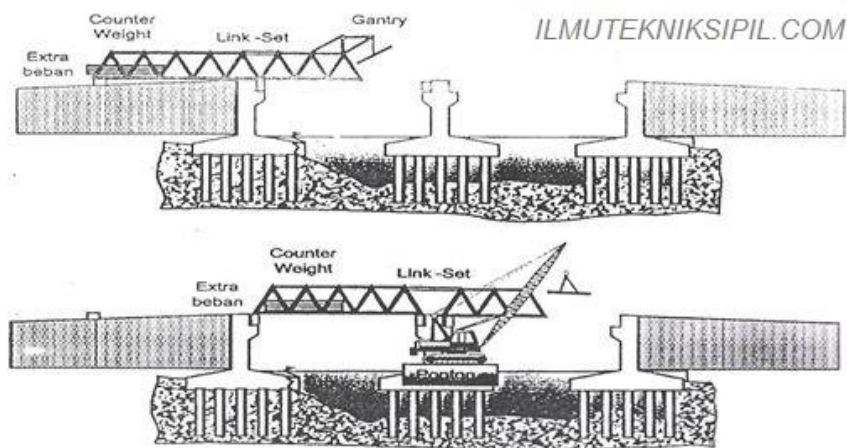
1. Sistem Perancah
2. Sistem *Service Crane*
3. Sistem *Launching Truss*
4. Sistem Penggunaan *Counter Weight* dan *Link set*
5. Sistem *Launching Gantry*
6. Sistem *Traveller* atau *Heavy Gantry*



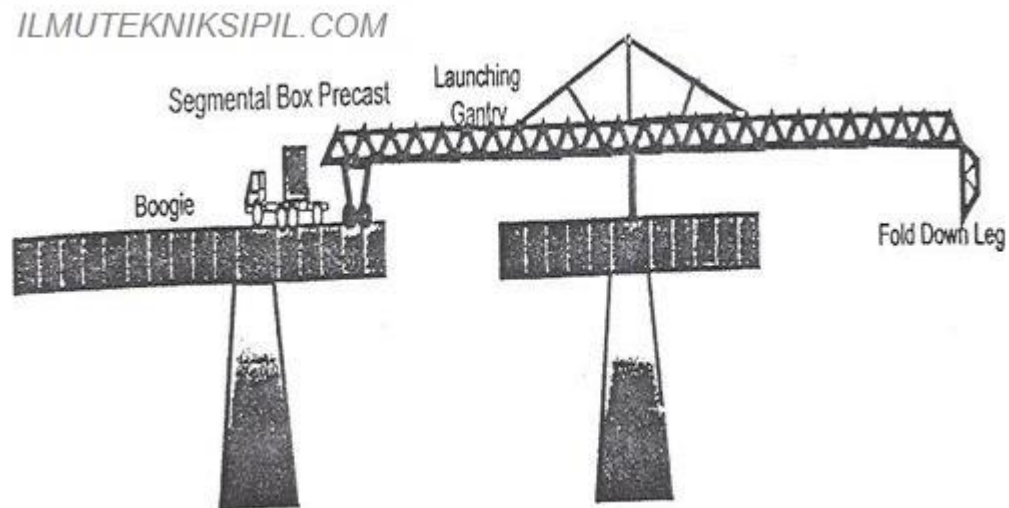
Gambar 16 : Metode Sistem Service Crane



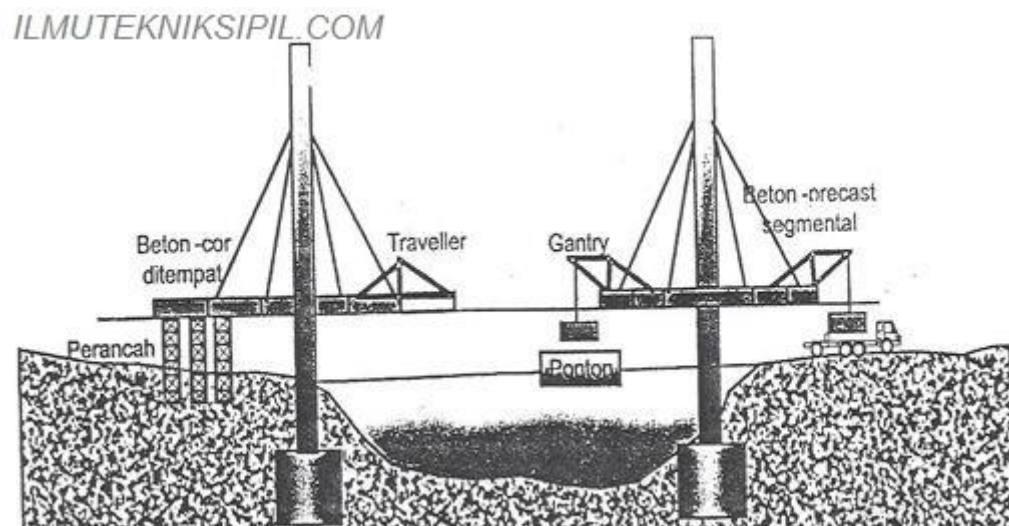
Gambar 17 : Metode *Launching Truss*.



Gambar 18 : Metode *Counter Weight* dan *Link set*.



Gambar 19 : Metode *Launching Gantry*



Gambar 20 : *Traveller* atau *Heavy Gantry*

Kriteria desain jembatan, antara lain :

1. Kekuatan dan Stabilitas Struktur
2. Kenyamanan dan Keamanan
3. Kemudahan (pelaksanaan dan pemeliharaan)
4. Ekonomis
5. Pertimbangan aspek lingkungan, sosial dan aspek keselamatan jalan

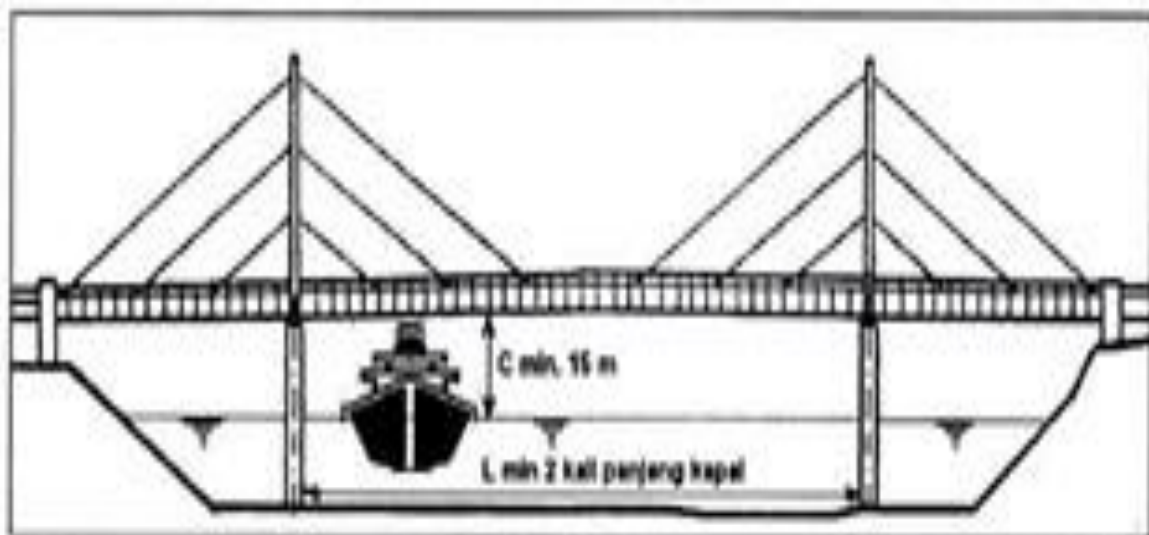
6. Keawetan dan kelayakan jangka panjang. Bahan struktural yang dipilih harus sesuai dengan lingkungan, misalnya jembatan rangka baja yang digalvanisasi tidak merupakan bahan terbaik untuk penggunaan dalam lingkungan laut agresifgaram yang dekat pantai.
7. Estetika Struktur jembatan harus menyatu dengan pemandangan alam dan menyenangkan untuk dilihat. Penampilan yang baik umumnya dicapai tanpa tambahan dekorasi.

Dalam merencanakan jembatan dibutuhkan parameter untuk dapat menentukan tipe bangunan atas, bangunan bawah dan pondasi, lokasi/letak jembatan, material, antara lain :

1. Umur rencana jembatan standar adalah 50 tahun dan jembatan khusus adalah 100 tahun. Umur rencana untuk jembatan permanen minimal 50 tahun. Umur rencana dipengaruhi oleh material/bahan jembatan dan aksi lingkungan yang mempengaruhi jembatan. Jembatan dengan umur rencana lebih panjang harus direncanakan untuk aksi yang mempunyai periode ulang lebih panjang.
2. Pembebanan jembatan Pembebanan jembatan sesuai SK.SNI T-02-2005 menggunakan BM 100.
3. Geometrik Lebar jembatan ditentukan berdasarkan kebutuhan kendaraan yang lewat setiap jam, makin ramai kendaraan yang lewat maka diperlukan lebar jembatan lebih besar.
4. Superelevasi / kemiringan Lantai Jembatan Kemiringan melintang lantai jembatan adalah 2%. Kemiringan memanjang jembatan adalah tanjakan atau turunan pada saat melalui jembatan. Perbandingan kemiringan dari tanjakan serta turunan tersebut disyaratkan sebagai berikut:
 - a. Perbandingan I : 30 untuk kecepatan kendaraan > 90 km/jam
 - b. Perbandingan I : 20 untuk kecepatan kendaraan 60 s/d 90 km/jam.
 - c. Perbandingan I : 10 untuk kecepatan kendaraan < 60 km/jam.

5. Ruang Bebas Vertikal dan Horizontal Ruang bebas adalah jarak jagaan yang diberikan untuk menghindari rusaknya struktur atas jembatan karena adanya tumbukan dari benda-benda hanyutan atau benda yang lewat di bawah jembatan. Clearance (ruang bebas) vertikal diukur dari permukaan air banjir sampai batas paling bawah struktur atas jembatan. Besarnya clearance bervariasi, tergantung dari jenis sungai dan benda yang ada di bawah jembatan. Nilai ruang bebas di bawah jembatan ditentukan sebagai berikut:

- a. $C = 0,5 \text{ m}$; untuk jembatan di atas sungai pengairan
- b. $C = 1,0 \text{ m}$; untuk sungai alam yang tidak membawa hanyutan .
- c. $C = 1,5 \text{ m}$; untuk sungai alam yang membawa hanyutan ketika banjir.



Gambar 21 : Clearance pada jembatan diatas selat/laut/sungai yang dilewati kapal.

Karakter kerusakan gempa pada bangunan baja.

1. Banyak bangunan rusak tanpa tanda-tanda jelas karena tidak ada *drift permanen* atau kerusakan arsitektur.
2. Evaluasi pasca gempa terhadap kerusakan, sulit dilakukan. Untuk tahu sambungan rusak, perlu pembobokan finishing arsitektural & *fireproofing*.
3. Evaluasinya mahal, bahkan ketika yang rusak tidak ditemukan. Walaupun rusak, perbaikan sambungan mahal. Bisa saja lebih murah merobohkannya secara menyeluruh dan membangun baru, daripada mengevaluasi dan memperbaikinya.

Materi perencanaan struktur (baja dan beton) tahan gempa, antara lain :

1. Ada tiga dokumen (AISC 360, AISC 341 & AISC 358) untuk baja tahan gempa.
2. Struktur beton tahan gempa, cukup ACI 318 (2019), *Part 5 : Earthquake Resistance (Chapter 18. Earthquake-Resistant Structures)* (\pm 70 hal.), bandingkan code baja tahan gempa (AISC 341) \pm 480 hal.
3. Struktur baja jauh lebih "berat" dari struktur beton.

Melacak keruntuhan akibat permasalahan stabilitas.

Melacak perilaku keruntuhan *scaffolding* baja yang diuji beban di Laboratorium Struktur Pusat Pemukiman di Bandung.

Struktur baja *scaffolding* produk dalam negeri, telah teruji di proyek-proyek konstruksi. Akan diuji beban sampai maksimum.

Kriteria Mutu Bangunan Konstruksi Baja , antara lain :

1. Tahap awal jasa konstruksi mulai dari tahap rancangan dengan spesifikasi teknis (gambar dan tulisan), sehingga menjadi bagian dari dokumen kontrak konstruksi.
2. Dokumen perancangan , apakah memenuhi kriteria code / standar terkini dengan indikator telah memenuhi persyaratan minimal keamanan dan keselamatan publik.
3. Saat serah terima bangunan bisa dilihat kelengkapan dokumen kontrak, siapa pelaksana dan bagaimana komitmennya pada mutu pekerjaan sehingga bisa diprediksi mutu bangunan.

4. Jika ditemukan kegagalan bangunan tidak terlalu lama dari saats erah terima, berarti bangunan belum teruji. Jika demikian masalah tentunya terkait proses pelaksanaan.
5. Kegagalan bangunan, tanpa dokumen desain yang lengkap, skenarionya bisa apa saja.
6. Bangunan tanpa dokumen perancangan, tidak termasuk bangunan rekayasa, biasanya saat ini dijumpai pada bangunan non-rekayasa dikerjakan secara *trial-and-error*, yang tidak bisa diandalkan.

C. EVALUASI TEKNOLOGI METODE KERJA, MATERIAL,DESAIN SESUAI POS /NSPM.

Metode pelaksanaan proyek konstruksi yang baik apabila memenuhi persyaratan yaitu:

1. Memenuhi persyaratan teknis.
2. Memenuhi persyaratan ekonomis, yaitu biaya murah, wajar dan efisien.
3. Memenuhi pertimbangan nonteknis.
4. Merupakan alternatif/pilihan terbaik.

Evaluasi Teknologi Metoda kerja, material, desain sesuai POS/NSPM, seperti dibawah ini :

Observasi dan investigasi lapangan dilakukan untuk *assessment* integritas sistem struktur. *Assessment* kondisi lapangan sistem struktur bangunan, yaitu :

- a. evaluasi kerusakan, cacat elemen struktur dan penyebabnya;
- b. verifikasi konstruksi sistem struktur yang dibangun, kesesuaian dengan rancangan;
- c. evaluasi tingkat kenyamanan dan keamanan sistem struktur;
- d. evaluasi durabilitas material dan kemunduran kualitas;
- e. evaluasi fisik dan mekanik material/elemen struktur;

- f. rekomendasi pekerjaan renovasi atau perbaikan menjadi bagian dari pemeliharaan jembatan.

Korosi dan pencegahannya.

Korosi didefinisikan sebagai *deteorasi* atau kerusakan material yang diakibatkan oleh interaksi material tersebut dengan lingkungan, sehingga terjadi reaksi elektrokimia.

1. Suatu material ketika dijaga pada kondisi atmosfir tertentu, maka akan terjadi beda potensial antara material dan lingkungannya, akibatnya terjadinya perpindahan ion-ion dari material ke larutan.
2. Laju korosi didefinisikan sebagai laju dimana ion-ion tersebut meninggalkan material

Jenis-Jenis Korosi

1. Korosi Galvanik
2. Korosi celah
3. Korosi Sumuran
4. Korosi atmosfir
5. *Stress Corrosion Cracking*
6. *Hydrogen Embrittlement*
7. Korosi Biologi

Pencegahan Terhadap Korosi Galvanik.

Hindarkan kontak langsung antara 2 logam tidak sejenis.

Untuk situasi yang tidak dapat dihindarkan ,area *anodic* harus lebih besar dari area *Katodik*. Dua material harus sedekat mungkin dalam *galvanic series*, sehingga beda potensialnya kecil , sehingga dapat dipasang insulator antara dua material serta hindari sambungan ulir (Mur-baut) antara dua metal.

DAFTAR PUSTAKA

A. DASAR PERUNDANG-UNDANGAN.

1. Peraturan Menteri PUPR Nomor 8, Tentang Penilai Ahli Kegagalan Bangunan.

B. BUKU REFERENSI.

1. Modul 3 LPJK; Kriteria ,Tolok Ukur, Kegagalan Fungsional Bangunan
2. Modul 6 LPJK; Perencanaan dan Pengendalian Penilaian Kegagalan Bangunan
3. Modul 8 LPJK; Forensic Engineering dan Tolok Ukur Kegagalan Bangunan
4. Modul 11 LPJK; Geoteknik dan Teknik Perbaikan Tanah.
5. Modul 12 LPJK; Uji dan Teknik Perbaikan Material, Teknik Perkuatan Beton, Pasca Gempa dan Kebakaran
6. Modul 13.A LPJK; Kriteria Design, Korosi, Uji Material Kekuatan Baja terkait Kegagalan Bangunan.
7. Modul 13.B LPJK; Kriteria Design, Korosi, Uji Material Kekuatan Baja terkait Kegagalan Bangunan Baja.
8. Modul 13.C LPJK; Kegagalan Struktur Baja , Uji Mekanik NDT dan Korosi JMS.
9. Metode Kerja Pelaksanaan Jembatan, Diklat PUPR
10. Faktor Faktor Penyebab Kegagalan Bangunan Struktur Jembatan, oleh Ir.I.Gede Putu Joni, MT, Program Studi Teknik Sipil Universitas Udayana, Bali
11. Kriteria Perencanaan Jembatan dan Pembebanan Jembatan.
12. Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan, Nomor : 004 /BM/ 2012. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR.