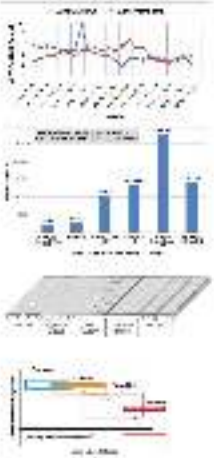
A. Tatang Dachlan

TEKNOLOGI PEMELIHARAAN
PERKERASAN KAKU

KAJIAN KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS PERKERASAN BETON PRACETAK PRATEGANG



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
JALAN DAN JEMBATAN

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
JALAN DAN JEMBATAN

A. Tatang Dachlan

PELAKSANAAN
PERKERASAN KAKU

KAJIAN KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS PERKERASAN BETON PRACETAK PRATEGANG

PELAKSANAAN PERKERASAN KAKU

KAJIAN KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS PERKERASAN BETON PRACETAK PRATEGANG

Ir. A. Tatang Dachlan, M.Eng.Sc.

PUSJATAN

INFORMATIKA
Bandung

KAJIAN KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS
PERKERASAN BETON PRACETAK PRATEGANG

Ir. A. Tatang Dachlan, M.Eng.Sc.

(Desember 2011)

Cetakan Ke-1, Desember 2011 (xvi + 104 Halaman)
© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Nomor ISBN : **978-602-8758-73-4**
Kode Kegiatan : **03-PPK3-01-146-11**
Kode Publikasi : **IRE-TR-048/ST/2011**
Kata Kunci : **Beton, Perkerasan Beton, Pracetak, Prategang, Kelayakan teknis dan ekonomis.**

Penulis:
Ir. A. Tatang Dahlan, M.Eng.Sc.

Editor:
Prof (R). Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Penyusunan Naskah Ilmiah Litbang Teknologi Perkerasan Kaku (Kajian Kelayakan Teknis Dan Ekonomis Perkerasan Beton Pracetak Prategang).

Pandangan yang disampaikan dari dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggungjawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa seijin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:
Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:
Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.

4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU
6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, MSc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, M.T.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.

PUSJATAN

Kata Pengantar

Naskah ini merupakan hasil implementasi kajian secara ekonomi pada pekerjaan perkerasan beton semen pracetak-prategang yang ada di beberapa tempat di Indonesia. Perkerasan beton yang disurvei terdiri atas perkerasan beton pracetak (*precast*) yang diberi prategang (*pre-stress*) dan tanpa prategang untuk dibandingkan terhadap perkerasan beton konvensional.

Naskah ini disusun berdasarkan hasil analisis perkerasan jalan beton semen dengan metode pracetak-prategang dan beberapa pekerjaan jalan beton pracetak yang sedang dilaksanakan di beberapa kegiatan pekerjaan Ditjen Bina Marga dan Jalan Tol. Survei dilaksanakan sejak tahun 2010 sampai akhir tahun 2011. Hasil evaluasi dan implikasinya diharapkan dapat bermanfaat sebagai umpan balik bagi pengambilan keputusan dalam rangka kelayakan kinerja program, perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan pengendalian kegiatan pekerjaan.

Segala masukan kami harapkan dalam tulisan ini untuk koreksi dan penyempurnaan program selanjutnya. Atas perhatian, masukan dan koreksinya diucapkan terima kasih.

Bandung, Desember 2011
Penulis,

Ir.A.Tatang Dachlan, M.Eng.Sc.
Peneliti Utama Bidang Perkerasan Jalan

PUSJATAN

Daftar Isi

PENGANTAR ..... **v**

DAFTAR I S I ..... **vii**

DAFTAR TABEL ..... **xi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**

GLOSARI ..... **xv**

1. PENDAHULUAN **1**

2. KAJIAN PUSTAKA **5**

2.1 Nilai Ekonomi Pembangunan Perkerasan 5

2.1.1 Umum 5

2.1.2 Teknik dan Keterbatasan 6

2.1.3 Biaya Perkerasan 8

2.1.4 Analisis Ekonomi 15

2.1.5 Pengaruh Pertumbuhan Lalu-Lintas terhadap Biaya 21

2.1.6 Estimasi Biaya 22

2.1.7 Sensitivitas Faktor-faktor Biaya 30

2.1.8 Ilustrasi Perhitungan 36

2.1.9 pembangunan Bertahap yang Optimum 42

2.1.10 Perbandingan Jalan Kerikil dengan Jalan Diperkeras 44
2.1.11 Rangkuman, Analisis Ekonomi..... 45
2.2 Analisis Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost Analysis*) 46
2.2.1 Umum 46
2.2.2 Rekayasa Ekonomi 48
2.2.3 Faktor Biaya 57
2.2.4 Analisis Biaya Siklus Hidup Pekerjaan Jalan..... 63
2.3 Kelayakan Perkerasan Beton Semen Pracetak 68
2.3.1 Kelayakan..... 68
2.3.2 Periode Pelaksanaan Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang..... 69
2.3.3 Manfaat Pelaksanaan Perkerasan Pracetak 70
2.3.4 Rekomendasi 71
3. ANALISIS DATA DAN EVALUASI 73
3.1 Umum 73
3.2 Hasil Survei Perkerasan Beton Semen Konvensional 74
3.2.1 Harga Satuan 74
3.2.2 Pelaksanaan Lapangan 75
3.2.3 Kinerja..... 77
3.3 Hasil Survei Perkerasan Beton Pracetak Prategang..... 79
3.3.1 Harga Satuan 79
3.3.2 Perbandingan Harga Perkerasan Beton (Konvensional, Pracetak, Beton dengan Bahan Tambah) di Uji Coba Skala Penuh Buntu-Kebumen 80
3.3.3 Lokasi yang Disurvei 81
3.3.4 Pelaksanaan Lapangan 82
3.3.5 Saat Pelaksanaan Perkerasan Beton Pracetak 84
3.3.6 Kinerja..... 85
3.3.7 Hasil Survei Lalu Lintas 87

3.3.8 Biaya Operasi Kendaraan (BOK) 93
3.3.9 Evaluasi Ekonomi 94
4. PENUTUP 97
4.1 Hasil Kajian Ekonomi 97
4.2 Saran dan Tindak Lanjut 99

DAFTAR PUSTAKA 101

PUSJATAN

PUSJATAN

Daftar Tabel

Tabel 1. Perbandingan antara biaya pemeliharaan dengan biaya awal 13
Tabel 2. Faktor nilai sekarang pembayaran tunggal*..... 18
Tabel 3. Kecepatan beberapa jenis kendaraan* 23
Tabel 4. Biaya Operasi Mobil Penumpang Menurut Kecepatan dan Jenis Lapis Permukaan* 25
Tabel 5. Biaya Operasi Truk Menurut Kecepatan dan Jenis Lapis Permukaan* 26
Tabel 6. Pengaruh volume lalu-lintas terhadap biaya1)..... 32
Tabel 7. Pengaruh biaya pengguna jalan tambahan1) 33
Tabel 8. Pengaruh suku buanga1) 34
Tabel 9. Perbandingan alternatif pemeliharaan besar (i = 8% per tahun) 38
Tabel 10. Biaya pemeliharaan rutin pada Contoh 2 39
Tabel 11. Biaya operasi kendaraan dan biaya pemeliharaan* 40
Tabel 12. Lalu-lintas harian Ruas Buntu-Kebumen..... 88
Tabel 13. Lalu-lintas harian Ruas Ciasem-Pamanukan 88
Tabel 14. Jumlah kendaraan Ciasem-Pamanukan per jam selama 24 jam 89
Tabel 15. Kecepatan Kendaraan 92
Tabel 16. Biaya Operasi Kendaraan (BOK)..... 93

Tabel 17 Analisis Biaya Perkerasan Beton Pracetak dan Beton Semen Konvensional (Pantura Jawa Barat) 95
Tabel 18 Perhitungan antara PPCP dan Beton Konvensional..... 96

PUSJATAN

Daftar Gambar

Gambar 1.	Dua pilhan strategi desain pelaksanaan bertahap.....	7
Gambar 2.	Dua pilhan strategi pemeliharaan.....	9
Gambar 3	Tipikal Kurva Kinerja Perkerasan dan Waktu Pemeliharaan/Rehabilitasi (Caltrans, 2007).....	10
Gambar 4	Konsep Waktu Optimal Preservasi Perkerasan Beton (Caltrans, 2007).....	11
Gambar 5.	Perbandingan biaya sebenarnya dengan biaya sekarang	18
Gambar 6.	Sketsa mobil penumpang dan truk (dari DeWeille).....	24
Gambar 7.	Biaya pengguna jalan tambahan akibat perubahan kecepatan.....	27
Gambar 8.	Umur pelayanan disain awal optimum lapis permukaan	43
Gambar 9.	Contoh biaya jalan kerikil dan biaya jalan beraspal.....	45
Gambar 10	Periode kemacetan selama pelaksanaan.....	69
Gambar 11.	Ilustrasi persandingan harga perkerasan beton konvensional di Indonesia dan Luar Negeri	75
Gambar 12	Ilustrasi urutan pelaksanaan perkerasan beton konvensional	76
Gambar 13.	Contoh beberapa kerusakan pelat pada perkerasan beton semen konvensional	78

Gambar 14. Contoh beberapa kerusakan sambungan sambungan pada perkerasan beton semen konvensioanl 78
Gambar 15. Ketidakrataan Perkerasan Beton Konvensional di Jatibarang 79
Gambar 16. Ilustrasi persandingan harga perkerasan beton konvensional, Beton dengan bahan tambah, dan Beton pracetak-prategang di Indonesia 80
Gambar 17. Perbandingan harga perkerasan beton konvensional dan Beton pracetak di luar negeri..... 81
Gambar 18. Susunan dan jenis panel perkerasan beton pracetak .. 83
Gambar 19. Ilustrasi urutan pemasangan panel pracetak prategang 84
Gambar 20. Beberapa cacat pada panel pracetak prategang..... 85
Gambar 21. Ketidakrataan perkerasan beton Buntu..... 86
Gambar 22. Ketidakrataan perkerasan beton semen pracetak Ciasem 87
Gambar 23. Lalu-lintas harian Ciasem-Pamanukan 89
Gambar 24. Jumlah kendaraan Ciasem-Pamanukan selama 24 jam (buah/jam) 90
Gambar 25. Jumlah kendaan Ciasem-Pamanukan selama 24 jam (persen/jam) 91
Gambar 26. Kecepatan kendaraan normal dan selama pelasanaan 92

Glosari

beton semen pracetak (*precast concrete*)

Struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) dilakukan pra-tegang (*pre-stressed*) atau tanpa prategang, dibuat menggunakan cetakan berukuran tertentu di tempat atau di unit produksi beton.

evaluasi

Proses penilaian pencapaian tujuan dan pengungkapan masalah kinerja kegiatan pekerjaan (proyek) untuk memberikan umpan balik bagi peningkatan kualitas kinerja program atau kegiatan pekerjaan.

kinerja perkerasan

Suatu penurunan kondisi selama periode yang dianalisis akibat lalu lintas dan faktor lainnya.

monitoring

Proses pengumpulan dan analisis informasi (berdasarkan indikator yang ditetapkan) secara sistematis dan kontinu tentang kegiatan program/ proyek sehingga dapat dilakukan tindakan koreksi untuk penyempurnaan program/proyek itu selanjutnya.

pemeliharaan besar

Penambahan lapis permukaan atau rekonstruksi sehingga dihasilkan permukaan perkerasan yang mempunyai kondisi mendekati kondisi awal.

pemeliharaan rutin,

Koreksi sedini mungkin terhadap bagian-bagian perkerasan yang rusak. (*Caltran, FHWA*, 2007, 1-2).

preservasi perkerasan

Program strategi jangka panjang yang dapat meningkatkan kinerja perkerasan jalan beton berdasarkan keterpaduan antara biaya perbaikan yang hemat, dan meningkatnya keselamatan pemakai jalan. Preservasi perkerasan dipertimbangkan ditangani sejak awal dalam merancang umur perkerasan yaitu pada saat perkerasan masih dalam kondisi relatif baik. (*Caltran, FHWA*, 2007, 1-2).

perkerasan jalan beton semen

Suatu struktur perkerasan yang umumnya terdiri atas tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan atau tanpa tulangan (Pd T-05-2004-B).

perkerasan jalan beton semen pra-tegang (*prestressed concrete pavement, PCP*)

Jenis perkerasan jalan beton semen menerus, tanpa tulangan yang menggunakan kabel-kabel pratekan guna mengurangi pengaruh susut, muai dan lenting akibat perubahan temperatur dan kelembaban.

restorasi

Rehabilitasi minor bila perkerasan mulai menunjukkan kerusakan awal seperti retak atau kurang nyaman ketika berkendaraan. (*Caltran, FHWA*, 2007, 1-2).

1

PENDAHULUAN

Penggunaan perkerasan beton semen di Indonesia nampaknya akan makin meningkat. Hal tersebut dikarenakan jalan beton semen dipandang dapat mengatasi beberapa persoalan yang dihadapi pada pembangunan jalan, yang sebelumnya tidak dapat diatasi dengan perkerasan beton aspal. Salah satu persoalan pembangunan jalan yang dinilai dapat diatasi melalui perkerasan beton semen adalah beban kendaraan yang makin berat dan padat. Dewasa ini jalan beton semen sudah sering digunakan untuk berbagai kelas jalan, termasuk jalan tol dan jalan nasional, bahkan sampai jalan kabupaten. Adapun jenis perkerasan beton semen yang sudah umum digunakan di Indonesia adalah perkerasan beton semen yang dicor di tempat (beton semen konvensional).

Meskipun perkerasan beton semen konvensional dapat mengatasi beberapa persoalan pembangunan jalan, namun di sisi lain, pelaksanaannya memerlukan waktu yang lebih lama daripada waktu pelaksanaan perkerasan beton aspal. Perbedaan tersebut dikarenakan pada pelaksanaan perkerasan beton semen konvensional diperlukan waktu untuk memungkinkan beton semen mengeras sehingga dapat dilalui kendaraan. Sehubungan dengan hal tersebut, apabila perkerasan beton konvensional digunakan untuk meningkatkan atau mengganti perkerasan lama, maka

kemacetan yang mungkin timbul selama masa pelaksanaan beton konvensional akan lebih lama daripada masa pelaksanaan beton aspal. Secara ekonomi, tentunya kerugian akibat kemacetan selama pembangunan perkerasan beton semen konvensional akan lebih besar daripada kerugian akibat kemacetan selama pembangunan perkerasan beton aspal. Perbedaan kerugian tersebut akan menjadi lebih nyata apabila perkerasan beton semen konvensional digunakan pada jalan yang melayani lalu-lintas padat.

Untuk mereduksi kerugian yang ditimbulkan akibat kemacetan selama pembangunan, dewasa ini telah dikembangkan teknologi perkerasan beton semen dengan sistem pracetak (*precast*). Perkerasan beton semen dibuat dan dicetak dalam bentuk panel-panel di suatu pusat fabrikasi di luar lokasi pekerjaan. Panel-panel tersebut diangkut ke lokasi pekerjaan dan selanjutnya dipasang menjadi rangkaian yang menerus dan di-*stressing* (*post-tension*) setelah penempatan. Dengan teknologi tersebut, maka waktu yang diperlukan untuk pelaksanaan perkerasan menjadi lebih singkat, karena setelah terpasang dan di-*grouting*, perkerasan dapat segera dilalui kendaraan.

Meskipun teknologi di atas masih relatif baru dan penerapannya secara internasional agaknya belum banyak digunakan, namun di Indonesia telah dibangun jalan dengan perkerasan beton semen berteknologi pracetak, yaitu pada ruas Cakung – Cilincing (2008) sekitar 1000 meter, disusul dengan jalan Tol Kanci-Pejagan, 35 Km (2009). Uji coba skala penuh (2009) perkerasan beton pracetak dilaksanakan diBuntu-Kebumen (Purwokerto), Provinsi Jawa Tengah (2009), sepanjang sekitar 1122 meter sebagai *prototype* beton pracetak dan perkerasan beton menggunakan jalan beton semen pracetak di ruas jalan Cikampek-Pamanukan (Ciasem, arah Jakarta) sepanjang sekitar 1300 meter.

Untuk kegiatan pengkajian kelayakan jalan beton dengan sistem pracetak prategang ni dipilih lokasi uji coba skala penuh di ruas jalan Buntu –

Kebumen, Provinsi Jawa Tengah dan jalan Cikampek-Pamanukan (Ciasem) dengan pertimbangan jalan masih relatif baru dan datanya lengkap untuk bahan mengkaji kelayakan.

Uraian di atas menunjukkan bahwa konsep teknologi perkerasan beton semen pracetak adalah menekan biaya akibat kemacetan selama pelaksanaan, yaitu dalam rangka mengkompensasi nilai fisik yang mungkin lebih mahal daripada nilai fisik beton semen konvensional. Mengingat teknologi perkerasan beton semen pracetak masih baru dan belum diterapkan secara luas, khususnya di Indonesia, maka untuk memastikan bahwa teknologi tersebut benar-benar memiliki keunggulan ditinjau dari segi teknis maupun segi ekonomi, diperlukan pengkajian kelayakan perkerasan beton semen pracetak prategang yang dibandingkan terhadap beton konvensional.

PUSJATAN

PUSJATAN

2

KAJI AN PUSTAKA

2.1 Nilai Ekonomi Pembangunan Perkerasan

2.1.1 Umum

Sebagian besar jalan raya merupakan fasilitas umum yang dibangun dan dibiayai dari pendapatan pajak negara. Pada kasus yang lain, sumber pendapatan negara adalah pinjaman dari lembaga perbankan, yang kemudian harus dibayar melalui beberapa bentuk pajak dan pungutan dari pengguna jalan.

Filosofi yang sama berlaku juga untuk perkerasan lapang terbang yang dibangun melalui uang masyarakat sehingga perlu direncanakan dan dibangun berdasarkan analisis ekonomi yang semestinya.

Tugas utama seorang perencana perkerasan jalan adalah merancang fasilitas untuk mengatasi lalu-lintas yang diantisipasi, berdasarkan kaidah-kaidah ekonomi. Perlu ditekankan sejak awal bahwa analisis ekonomi dapat menjadi dasar bagi perencana untuk mengambil pertimbangan akhir, meskipun pembenaran tersebut bukanlah satu-satunya faktor yang menjadi pertimbangan. Nilai ekonomi dapat diidentifikasi terhadap hal-hal berikut:

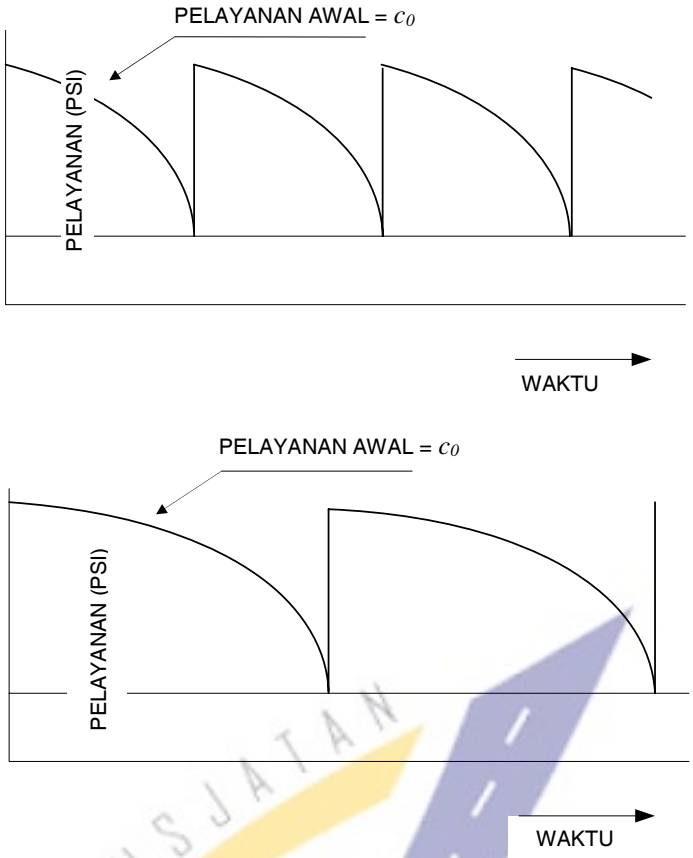
- Teknik keterbatasan,
- Biaya perkerasan (pelaksanaan, pemeliharaan),
- Analisis ekonomi (suku bunga, nilai sekarang (*present worth)*, biaya tahunan, nilai sisa, biaya pemeliharaan, biaya tahunan sekarang),
- Pengaruh pertumbuhan lalu lintas terhadap biaya,
- Estimasi biaya (biaya pengguna jalan, biaya tambahan pengguna, biaya pemeliharaan, perubahan biaya pemeliharaan menurut waktu),
- Sensitivitas (nilai sisa, lalu lintas, biaya pengguna, suku bunga, lama periode analisis, inflasi, ilustrasi perhitungan harga satuan, dan ilustrasi biaya pemeliharaan,
- Pembangunan bertahap.

2.1.2 Teknik dan Keterbatasan

Pada Gambar 1 ditunjukkan dua pilihan strategi disain yang masing-masing menyatakan hubungan antara indeks pelayanan dengan waktu. Gambar 1 di bagian atas menunjukkan tiga kali penambahan lapis perkuatan (*overlays*), sedangan pada Gambar 1 di bagian bawah ditunjukkan hanya satu kali penambahan lapis perkuatan.

Terutama di wilayah yang sedang berkembang, pendekatan paling ekonomis yang lebih sering diterapkan adalah membangun jalan secara bertahap daripada membangun langsung dengan biaya awal yang sangat besar. Karena filosofi dasar desain adalah menyediakan fasilitas bagi akumulasi lalu-lintas, maka keputusan utama yang dihadapi perencana adalah tentang umur struktur. Perubahan geometri (kelandaian memanjang dan alinyemen) sebelum kondisi fisik jalan mencapai batas yang menuntut penggantian sering mengakibatkan jalan menjadi tidak berguna. Studi tentang umur perkerasan menunjukkan bahwa untuk kondisi yang umum dan dengan pemeliharaan yang semestinya, jalan beraspal dapat bertahan selama (15 – 20) tahun. Pada akhir periode tersebut, perkerasan perlu dilapis ulang, agar dapat bertahan kembali untuk 15 sampai 20 tahun.

Dengan demikian, umur rencana total (disebut periode analisis) adalah jumlah kedua periode tersebut, atau maksimum 40 tahun.



Gambar 1. Dua pilhan strategi disain pelaksanaan bertahap

Apabila pelaksanaan bertahap yang ditunjukkan Gambar 1 perlu ditinjau, maka secara aksioma, jalan harus dipelihara sebagaimana mestinya, termasuk pada saat-saat tertentu selama periode analisis. Sehubungan dengan hal tersebut, maka teknik yang dibahas pada uraian ini hanya dapat digunakan sebagai pedoman saja dan analisis hanyalah sebagai salah satu piranti untuk mencapai tujuan akhir.

Keterbatasan lain jenis analisis tersebut adalah ketergantungan pada data yang digunakan. Contoh, estimasi biaya pemeliharaan rutin biasanya sulit dilakukan sehingga ditetapkan berdasarkan perkiraan. Demikian juga, suku bunga (*interest rate*) merupakan aspek yang sangat penting dalam analisis. Dengan menganggap suku bunga yang relatif tinggi, maka jawaban yang diperoleh akan mudah diubah apabila suku bunga menjadi lebih kecil.

Sehubungan dengan hal di atas, para perencana perlu berhati-hati, karena itu hasil proses optimisasi (hasil evaluasi berbagai strategi disain) harus digunakan sebagai pedoman saja karena keputusan akhir tergantung pada pengalaman perencana.

2.1.3 Biaya Perkerasan

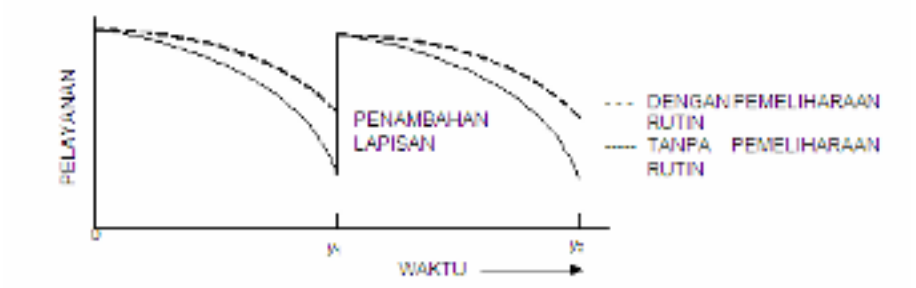
2.1.3.1 Umum

Perencanaan (*planning*) fasilitas jalan raya yang memadai mencakup peninjauan terhadap biaya pembangunan dan pemeliharaan. Namun disayangkan bahwa biaya pemeliharaan rutin biasanya sulit ditentukan, karena sering tersembunyi dalam biaya administrasi.

Pada beberapa kasus, analisis tidak hanya meninjau biaya pembangunan dan pemeliharaan saja, tetapi juga biaya operasi kendaraan yang menggunakan perkerasan. Contoh, pada saat membandingkan biaya pembangunan jalan kerikil dengan pembangunan biaya jalan beraspal. Karena data tentang biaya operasi kendaraan sangat terbatas, misal biaya operasi kendaraan (BOK) pada jalan yang rusak dan BOK pada jalan yang baik, maka analisis biaya perkerasan berpenutup (*paved surfaces*) umumnya menganggap bahwa BOK untuk berbagai kondisi jalan adalah tetap. Oleh karena itu, pada saat membandingkan biaya beberapa jenis perkerasan berpenutup, BOK tidak ditinjau.

Selama periode analisis, biaya utama perkerasan adalah tidak tetap, tetapi dibayarkan pada periode-periode tertentu selama masa pelayanan perkerasan. Tujuan pemeliharaan perkerasan adalah untuk meningkatkan pelayanan (*serviceability*) agar mendekati pelayanan awal.

Pada Gambar 2 ditunjukkan hubungan antara tingkat pelayanan dengan umur perkerasan. Terlihat bahwa tingkat pelayanan awal adalah tinggi, tetapi setelah perkerasan dilewati kendaraan, kondisi perkerasan akan menurun, baik dengan pemeliharaan rutin maupun tanpa pemeliharaan rutin.



Gambar 2. Dua pilhan strategi pemeliharaan

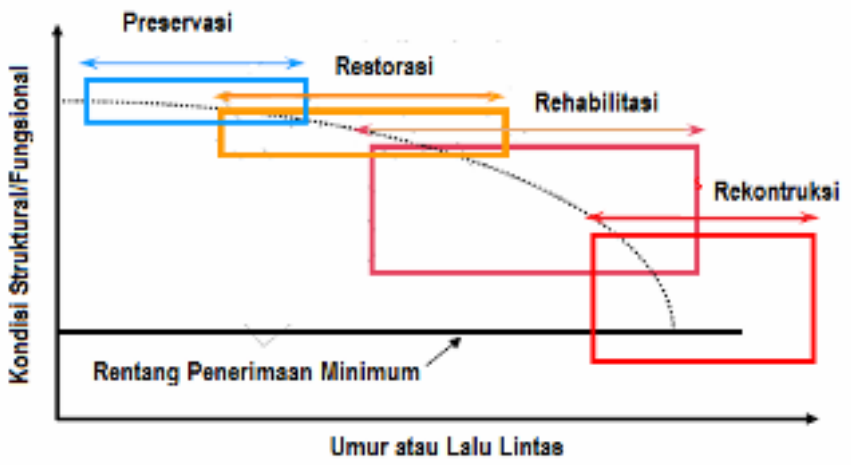
Apabila pemeliharaan perkerasan dilakukan secara rutin (*day-to-day*), maka kecepatan penurunan kondisi akan lebih lambat dibandingkan dengan penurunan kondisi tanpa pemeliharaan rutin. Kemudian, pada ahir periode tertentu, perkerasan mungkin perlu dilapis ulang atau direkonstruksi sehingga tingkat pelayanannya meningkat sampai mendekati tingkat pelayanan awal; selanjutnya penurunan kondisi perkerasan berlangsung kembali.

Sehubungan dengan hal di atas, maka pada saat analisis biaya perkerasan, perlu dibedakan antara pemeliharaan rutin (*routine day-to-day maintenance*) dengan pemeliharaan besar terencana (*major planned maintenance*).

2.1.3.2 Preservasi Perkerasan Jalan

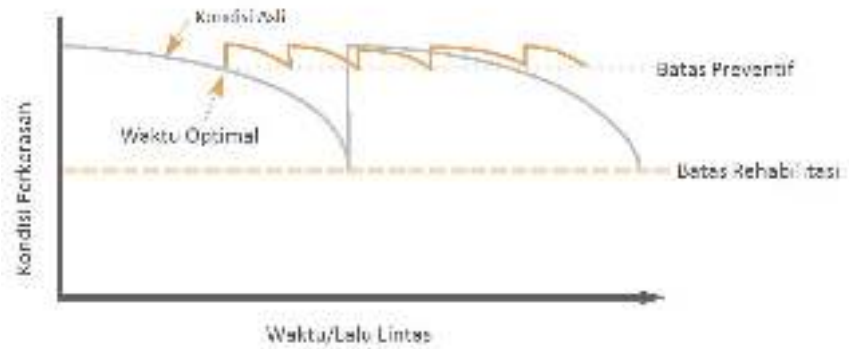
Tujuan perbaikan kerusakan perkerasan jalan adalah upaya untuk mempertahankan umur rencana atau masa pelayanan suatu jaringan jalan. Seperti diilustrasikan dalam Gambar 3, yaitu tipikal kinerja kondisi struktural/fungsional perkerasan akibat lalu lintas dan waktu, adalah konsep yang dikembangkan oleh *Caltrans.* (*Caltrans*, 2007, 1-1). Periode umur perkerasan selama preservasi adalah merupakan pilihan ekonomis. Preservasi perkerasan harus dipertimbangkan untuk ditangani sejak awal dalam merancang umur perkerasan yaitu pada saat perkerasan masih dalam kondisi relatif baik.

Restorasi (rehabilitasi minor) harus dilakukan bila perkerasan mulai menunjukkan kerusakan awal seperti retak atau kurang nyaman ketika berkendaraan. Biaya pemeliharaan ekonomis minimal akan hilang bila pemeliharaan tidak dilakukan secara proaktif untuk menjaga kondisi baik. Preservasi tidak lagi tepat karena kondisi perkerasan sudah memburuk sehingga biaya rehabilitasi akan menjadi lebih mahal.



Gambar 3 Tipikal Kurva Kinerja Perkerasan dan Waktu Pemeliharaan/Rehabilitasi (Caltrans, 2007)

Preservasi perkerasan (*Caltran, FHWA,* 2007, 1-2), adalah suatu program strategi jangka panjang yang dapat meningkatkan kinerja perkerasan jalan beton berdasarkan keterpaduan antara biaya perbaikan yang hemat, dan meningkatnya keselamatan pemakai jalan. Program preservasi perkerasan terdiri atas tiga komponen yaitu pemeliharaan preventif, restorasi (rehabilitasi minor), dan perawatan rutin (*Caltrans, FHWA,* 2005, 1-1). Konsep waktu optimal untuk preservasi perkerasan sebagai batas pemeliharaan preventif diilustrasikan dalam Gambar 4 oleh *Galehouse et al*, (*Caltrans*, 2007. 1-3)



Gambar 4 Konsep Waktu Optimal Preservasi Perkerasan Beton (*Caltrans*, 2007)

2.1.3.3 Pemeliharaan Besar (*Major Maintenance*)

Pemeliharaan besar didefinisikan sebagai penambahan lapis permukaan atau rekonstruksi sehingga dihasilkan permukaan perkerasan yang mempunyai kondisi mendekati kondisi awal. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, biaya untuk pemeliharaan besar dikeluarkan pada saat-saat tertentu pada periode umur perkerasan. Dalam hal tersebut, rentang waktu antara pemeliharaan besar tergantung pada jenis lapis permukaan.

Pemeliharaan besar umumnya dilakukan melalui penambahan lapisan permukaan (*overlay*) dalam rangka mengembalikan kerataan permukaan (*riding qualities*). Pada kasus penanganan permukaan perkerasan beraspal

(fleksibel), pemeliharaan besar umumnya dilakukan dengan laburan aspal (*surface treatment*) atau *seal coat* atau *chip seal (surface dressing*: baik *single, double* atau *triple surface dressing*) untuk memproteksi bagian permukaan, dipasang di atas perkerasan atau fondasi atas (*Overseas Road Note 3, 2nd Ed, TRL, DFID*, 2000). Perkerasan yang pada awalnya menggunakan beton aspal sebagai lapis permukaan, mungkin pada periode-periode tertentu dilapis kembali dengan beton aspal atau mungkin ditutup dengan perkerasan beton semen atau sebaliknya.

Pada perkerasan beton semen (kaku) pada umumnya dilapis tambah (*overlay*) dengan lapisan tipis beton semen, di atas perkerasan beton lama baik *bonded* atau *unbonded*, atau bila diperlukan dilapis dengan perkerasan beraspal.

2.1.3.4 Pemeliharaan Rutin

Pemeliharaan rutin mencakup koreksi sedini mungkin terhadap bagian-bagian perkerasan yang rusak; yaitu penambalan (*patching*), penanganan permukaan melalui pengkabutan (*fog seal*), laburan aspal pasir (*sand seal*), laburan aspal (*chip seal*), dan bubur aspal (*slurry seal*).

Untuk perkerasan beton atau perkerasan kaku, yaitu berupa menutup sambungan dan retak (*joint and crack sealing*), stabilisasi *slab* (*slab stabilization*), penggerindaan permukaan (*diamond grinding*) dan penambalan (*patching*).

Meskipun idealnya permukaan perkerasan perlu dipelihara secara rutin tiap hari, namun pada banyak kasus, perkerasan dibiarkan mengalami kerusakan, sejauh masih dapat digunakan. Oleh karena itu, penggunaan waktu dan biaya yang lebih besar umumnya perlu ditujukan terhadap seksi tertentu yang akan mendapat pemeliharaan besar. Pemeliharaan “ahir periode” tersebut mungkin mencakup penambalan, penambahan lapis

permukaan pada bagian perkerasan yang beralur, pembongkaran bagian perkerasan yang rusak (*badly worn*). Untuk keperluan pembahasan ini, pemeliharaan rutin mencakup pemeliharaan rutin harian (*routine day-to-day maintenance*) dan pemeliharan akhir periode (*end-of-period maintenance*). Pada pembahasan selanjutnya dibuat pembedaan antara pemeliharaan besar terencana (*major planned maintenance*) dan pemeliharaan rutin (*routine maintenance*).

Faktor yang harus diperhitungkan pada saat analisis biaya pemeliharan rutin adalah harga satuan konstruksi baru; contoh, harga satuan konstruksi baru yang dibangun secara bagian demi bagian akan jauh berbeda dengan harga satuan konstruksi baru yang dibangun langsung ke seluruh bagian (untuk nilai nilai-nilai tipikal ditunjukkan pada Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan antara biaya pemeliharaan dengan biaya awal

Lalu-Lintas (LHR)	Kondisi	Rentang CR[e]
25 – 100	Siap diakses[b]	1 – 3
	Dalam kota dan luar kota[c]	2 – 4
	Daerah terpencil[d]	3 – 5
100 – 1000	Siap diakses	1 – 3
	Dalam kota dan luar luar kota	2 – 5
	Daerah terpecil	3 – 5
1000 – 5000	Luar kota	2 – 4
	Dalam kota	3 – 5
Lebih dari 5000	Semua jenis	3 – 5

[a] Dari *Yoder*
[b] Contoh, di dekat daerah perkotaan dan bila tersedia jalan memutar (*detours*)
[c] Situasi dimana penyediaan jalan memutar sulit
[d] Lokasi dimana jalan jauh dari fasilitas pemeliharaan
e CR : *Cost Ratio*

Seorang perencana sering melakukan kekeliruan anggapan bahwa harga satuan pemeliharaan adalah sama dengan harga satuan pembangunan.

Contoh, harga satuan pembangunan perkerasan beton bertulang menerus di suatu daerah adalah $ 9,50 per yard persegi. Sebagai akibat beberapa faktor, perkerasan tersebut mengalami kerusakan yang cukup parah setelah 1 atau 2 tahun dilewati lalu-lintas. Harga satuan perbaikan perkerasan tersebut adalah $ 220,00 per yard persegi. Oleh karena itu, maka dalam hal tersebut perlu digunakan "perbandingan harga" ("*cost ratio*").

2.1.3.5 Biaya Pengguna Jalan (*Road User Costs*)

Pada uraian ini, biaya pengguna jalan mengacu pada salah satu dari dua jenis biaya sebagai berikut:

a. Biaya operasi kendaraan (*running costs of vehicles*), yang merupakan fungsi terein, jenis kendaraan, dan lain-lain.
b. Biaya pengguna jalan tambahan (*added user costs*) yang diakibatkan oleh kemacetan selama penutupan jalan.

Biaya pengguna jalan (*running user costs, RUC*) adalah penting pada saat membandingkan jalan tidak diperkeras dengan jalan diperkeras. Contoh, biaya operasi truk besar pada jalan kerikil yang besar akan merupakan faktor yang penting. Biaya opersai kendaraan pada berbagai jenis perkerasan adalah hampir sama sehingga tidak dimasukkan dalam analisis, kecuali pada kasus yang telah disebutkan.

Biaya ke dua yang disebutkan di atas, yaitu biaya pengguna jalan tambahan (*added user costs, AUC*), dapat menjadi faktor yang penting pada jalan yang padat, misal pada jalan bebas hambatan dan lapang terbang yang padat. Pada kasus tersebut, penutupan fasilitas akan mengakibatkan peningkatan biaya. Di sisi lain, biaya pengguna jalan tambahan pada jalan yang tidak padat, sebagai akibat kegiatan pemeliharaan, adalah minimum, karena selama pemeliharaan, jalan masih dapat dibuka untuk lalu-lintas walaupun dengan kecepatan yang lebih rendah. Pada uraian selanjutnya akan dibahas secara lebih rinci tentang sensitifitas berbagai faktor tersebut.

2.1.4 Analisis Ekonomi

2.1.4.1 Umum

Ditinjau dari segi pembangunan bertahap (*stage construction*), analisis ekonomi biaya pembangunan dan pemeliharaan jalan sangatlah penting. Pada analisis yang diuraikan di bawah, peninjauan akan dilakukan hanya terhadap biaya perkerasan saja.

2.1.4.2 Simbol yang Digunakan pada Analisis

Pada analisis ekonomi yang diuraikan di bawah, digunakan beberapa simbol sebagai berikut:

CR_f = faktor pengembalian modal (dikonversi ke biaya rata-rata tahunan)
= *capital recovery factor (converts to average annual costs)*
AAC = biaya tahunan rata-rata (a*verage annual cost*)
PW = faktor nilai sekarang (*present worth factor*)
SF = faktor biaya tersembunyi (*sinking fund factor*)
n = jumlah tahun selama periode analisis
i = suku bunga investasi (*interest rate on the investment*)
S = nilai sisa (*salvage value*)
I_c = biaya awal (*initial cost*)
M_m = biaya pemeliharaan besar (miasl, penambahan lapis permukaan)
M_r = biaya pemeliharaan rutin (misal, penambalan)
RUC = biaya pengguna jalan (biaya operasi kendaraan)
= *running user costs (running vehicle costs)*
AUC = biaya pengguna jalan tambahan (misal, akibat pemeliharaan)
= *added user costs (resulting from maintenance)*

Di samping hal di atas, pada uraian di bawah dibahas pula kasus-kasus khusus di mana simbol yang digunakan didefinisikan dalam uraian.

2.1.4.3 Suku Bunga, Pengaruh dan Pemilihannya

1) Pengaruh Suku Bunga

Pada setiap analisis ekonomi, suku bunga yang berlaku untuk uang yang harus dibelanjakan beberapa waktu di masa yang akan datang mempunyai pengaruh sangat besar terhadap seluruh biaya investasi. Bunga mempunyai pengaruh terhadap pengurangan biaya pemeliharaan, karena dengan tidak digunakannya uang pada pembangunan awal, pemerintah (pemilik proyek) dapat memperoleh "keuntungan" dengan cara menginvestasikan uang tersebut, atau, pada kasus pajak (*tax dollars*), uang memberikan bunga bagi pembayar pajak sebelum pajak dibayarkan di masa yang akan datang.

Pilihan-pilihan perkerasan dengan biaya awal yang tinggi dan biaya pemeliharaan atau biaya pengguna jalan yang rendah menguntungkan dengan suku bunga yang rendah; sebaliknya, suku bunga yang tinggi menghasilkan pilihan-pilihan yang menggabungkan biaya awal yang rendah dengan biaya pemeliharan dan pengguna jalan yang tinggi.

2) Pemilihan Suku Bunga

Karena suku bunga yang digunakan dalam analisis memegang peranan penting untuk memilih strategi desain, maka tahap tersebut tentunya perlu perhatian yang seksama dari perencana. Winfrey telah merangkum beberapa faktor yang perlu diperhatikan; di antaranya adalah harga yang dibayarkan dewasa ini oleh masyarakat, tingkat pendapatan investasi swasta, tingkat pengembalian (*rates of return*) pekerjaan umum, dan tingkat pembayaran pemerintah.

Winfrey menyarankan bahwa suku bunga harus ditentukan berdasarkan atau dari segi penyediaan modal individual (*individuals furnishing of capital*). Risiko dan ketidakpastian merupakan faktor-faktor yang tidak dapat diduga. Faktor lain yang menimbulkan persoalan adalah suku bunga yang tidak seimbang untuk berbagai komponen perkerasan. Contoh, harga bahan lapis permukaan mungkin lebih meningkat daripada harga bahan lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah, tergantung pada tergantung

mada kesulitan mendapatkan bahan-bahan tersebut dan beberapa faktor lain.

2.1.4.4 Nilai Sekarang (*Present Worth*)

Apabila *P* dolar diinvestasikan sekarang, maka pada ahir masa investasi, uang tersebut akan mempunyai tambahan nilai seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1)

$M = P(1 + i)^n$ ..... (1)

atau,

$$P = \frac{M}{(1+i)^n} \quad \text{.....(2)}$$

$P = M$ (PW) ..... (3)

di mana,

$$\text{PW} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad \text{..... (4)}$$

PW = faktor nilai sekaramg (*present worth factor*)

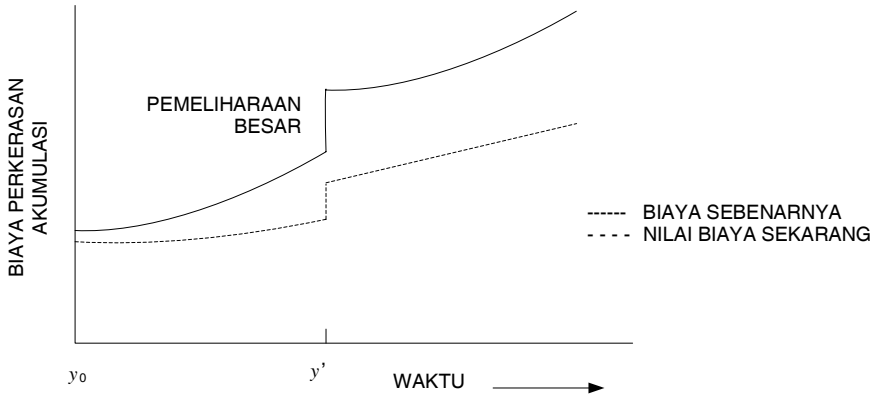
i = suku bunga

n = j umlah tahun selama periode analisis

Faktor nilai sekarang (PW) adalah nilai satuan uang pada saat sekarang yang akan dibelanjakan beberapa waktu di masa yang akan datang. Contoh, misalkan suatu lembaga mempunyai *M* dolar untuk pemeliharaan selama 20 tahun; apabila uang tersebut digunakan sekarang dan suku bunga gabungannya (*compound interest*) adalah 8 persen, maka nilai uang pada saat sekarang (misal pembayaran dilakukan pada setiap ahir tahun) adalah:

$$P = \frac{M}{(1+i)^n} = \frac{M}{(1+0{,}08)^n} = 0{,}2145M \quad \text{..... (4)}$$

Pada Tabel 2 ditunjukkan nila PW untuk berbagai suku bunga dan waktu. Pengaruh penghitungan nilai sekarang investasi di masa yang akan datang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 5. Perbandingan biaya sebenarnya dengan biaya sekarang

Tabel 2. Faktor nilai sekarang pembayaran tunggal*

Waktu	Suku Bunga									
	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25
1	1,0000	0,9804	0,9615	0,9434	0,9259	0,9091	0,8929	0,8696	0,8333	0,8000
2	1,0000	0,9612	0,9246	0,8900	0,8573	0,8264	0,7972	0,7561	0,6944	0,6400
3	1,0000	0,9423	0,8890	0,8396	0,7938	0,7513	0,7118	0,6575	0,5787	0,5120
4	1,0000	0,9238	0,8548	0,7921	0,7350	0,6830	0,6355	0,5718	0,4823	0,4096
5	1,0000	0,9057	0,8219	0,7473	0,6806	0,6209	0,5674	0,4972	0,4019	0,3277
6	1,0000	0,8880	0,7903	0,7050	0,6302	0,5645	0,5066	0,4323	0,3349	0,2621
7	1,0000	0,8706	0,7599	0,6651	0,5835	0,5132	0,4523	0,3759	0,2791	0,2097
8	1,0000	0,8535	0,7307	0,6274	0,5403	0,4665	0,4039	0,3269	0,2326	0,1678
9	1,0000	0,8368	0,7026	0,5919	0,5002	0,4241	0,3606	0,2843	0,1938	0,1342
10	1,0000	0,8203	0,6756	0,5584	0,4632	0,3855	0,3220	0,2472	0,1615	0,1074
11	1,0000	0,8043	0,6496	0,5268	0,4289	0,3505	0,2875	0,2149	0,1346	0,0859
12	1,0000	0,7885	0,6246	0,4970	0,3971	0,3186	0,2567	0,1869	0,1122	0,0687
13	1,0000	0,7730	0,6006	0,4688	0,3677	0,2897	0,2292	0,1625	0,0935	0,0550
14	1,0000	0,7579	0,5775	0,4423	0,3405	0,2633	0,2046	0,1413	0,0779	0,0440
15	1,0000	0,7430	0,5553	0,4173	0,3152	0,2394	0,1827	0,1229	0,0649	0,0352

Waktu	Suku Bunga									
	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25
16	1,0000	0,7284	0,5339	0,3936	0,2919	0,2176	0,1631	0,1069	0,0541	0,0281
17	1,0000	0,7142	0,5134	0,3714	0,2703	0,1978	0,1456	0,0929	0,0451	0,0225
18	1,0000	0,7002	0,4936	0,3503	0,2502	0,1799	0,1300	0,0808	0,0376	0,0180
19	1,0000	0,6864	0,4746	0,3305	0,2317	0,1635	0,1161	0,0703	0,0313	0,0144
20	1,0000	0,6730	0,4564	0,3118	0,2145	0,1486	0,1037	0,0611	0,0261	0,0115
25	1,0000	0,6095	0,3751	0,2330	0,1460	0,0923	0,0588	0,0304	0,0105	0,0038
30	1,0000	0,5521	0,3083	0,1741	0,0994	0,0573	0,0334	0,0151	0,0042	0,0012
40	1,0000	0,4529	0,2083	0,0972	0,0460	0,0221	0,0107	0,0037	0,0007	0,0001
50	1,0000	0,3715	0,1407	0,0543	0,0213	0,0085	0,0035	0,0009	0,0001	-
100	1,0000	0,1380	0,0198	0,0029	0,0005	0,0001	-	-	-	-

(Single-payment present worth factor)

2.1.4.5 Biaya Tahunan Rata-rata (*Average Annual Cost*)

Pada analisis ekonomi, biaya kadang-kadang dinyatakan dalam biaya tahunan rata-rata (AAC), meskipun uang dibelanjakan secara keseluruhan (*lump sum*). Biaya rata-rata tahunan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{AAC} = I_c\,(\text{CR}_\text{f})_n \quad \text{.....} \quad (5)$$

di mana, CR_f = faktor pengembalian modal (*capital recovery*)

$$\text{CR}_\text{f} = \frac{i(1+1)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{.....} \quad (6)$$

I_c = biaya awal

Contoh, misal suatu lembaga membangun jalan dengan biaya I_c dolar dan bila periode analisis adalah 20 tahun dan suku bunga gabungan 8 persen, maka biaya tahunan rata-rata selama 20 tahun adalah:

$$\text{AAC} = I_c\,(\text{CR}_\text{f})_n = I_c \frac{i(1+1)^n}{(1+i)^n - 1} = I_c \frac{0{,}08(1+0{,}08)^n}{(1+0{,}08)^n - 1} = 0{,}1019 I_c$$

Faktor biaya tersembunyi (*the sinking fund factor*) adalah,

$$SF = (PW)(CR_f) \quad \ldots\ldots\ldots\

Pada persamaan di atas, *x* menjadi nilai biaya berlaku pada interval-interval, terlepas dari jenisnya dan PW merupakan faktor nilai sekarang untuk tahun-tahun ketika *x* dibelanjakan.

Badlock telah menyarankan Persamaan 12 menjadi,

$$\mathrm{ACC} = \left[I_c + M_1(\mathrm{PW})_1 + M_2(\mathrm{PW})_2 - \left(1 - \frac{Y}{X}\right) M_2(\mathrm{PW})_n \right] (\mathrm{CR})_n + M_y \qquad (12)$$

Pada Persamaan 13 terlihat bahwa $(1-Y/X)M_2$ mewakili nilai sisa. Simbol pada Persamaan 13 mempunyai pengertian sebagai berikut:

Y = jumlah tahun antara pemeliharaan besar terahir dan ahir masa analisis.

X = perkiraan umur lapis permukaan terahir.

M_y = biaya pemeliharaan rutin perkerasan per tahun

2.1.4.8 Biaya Tahunan Rata-rata Dalam Kaitannya dengan Nilai Sekarang

Apabila membandingan beberapa alternatif perkerasan, terdapat keperluan kecil, sebagai ketentuan, untuk mebandingkan biaya tahunan. Dalam hal tersebut lebih baik hanya membandingkan total nilai sekarang atas berbagai alternatif.

2.1.5 Pengaruh Pertumbuhan Lalu-lintas terhadap Biaya

Pertumbuhan lalu-lintas mempengaruhi biaya perkerasan dalam beberapa cara. Pertama, mudah dipahami bahwa biaya pembangunan merupakan fungsi lalu-lintas; kedua, biaya pemeliharaan permukaan perkerasan tergantung pada jenis lapis permukaan, lalu-lintas dan ketersediaan bahan; ke tiga, biaya pengguna jalan dipengaruhi langsung oleh volume lalu-lintas.

Contoh, misalkan perlu dihitung biaya pengguna jalan yang dinyatakan dalam dolar per kendaraan. Bila pertumbuhan lalu-lintas adalah *r* persen per tahun dan bunga adalah *i* persen per tahun, maka biaya pengguna jalan adalah:

$$RUC = \sum_{1}^{n} \left[\frac{N_I}{(PW)_r} (365)(F) \right] \left[(PW)_i \right] \quad \text{..... (13)}$$

$$RUC = \sum_{1}^{n} N^n (365)(F)(R) \quad \text{..... (14)}$$

Keterangan:

N_f = lalu-lintas harian rata-rata awal (atau jumlah kendaraan kelas tertentu)

F = biaya operasi kendaraan, dolar per kendaraan

$$R = \frac{(PW)_i}{(PW)_r}$$

$(PW)_i$ = nilai suku bunga sekarang

$(PW)_r$ = nilai pertumbuhan lalu-lintas sekarang

2.1.6 Estimasi Biaya

2.1.6.1 Biaya Pengguna Jalan (*Road User Running Costs, RUC*)

Pada analisis ekonomi berbagai alternatif disain perkerasan, kadang-kadang perlu dilakukan estimasi biaya pengguna jalan. Biaya operasi kendaraan tergantung jenis lapis permukaan dan kecepatan kendaraan. Selanjutnya, kecepatan tergantung pada kelandaian tanjakan dan turunan jalan. Bagian atas Tabel 3 menunjukkan kecepatan rata-rata kendaraan penumpang dan truk pada tiga jenis lapis permukaan, sedangkan bagian bawah tabel menunjukkan pengurangan kecepatan sebagai fungsi kelandaian tanjakan dan turunan.

Setelah kecepatan rata-rata kendaraan diperkirakan, kemudian biaya operasi kendaraan untuk berbagai kendaraan penumpang dan truk dapat

diperkirakan dengan cara yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Truk dimaksud pada Tabel 5 adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

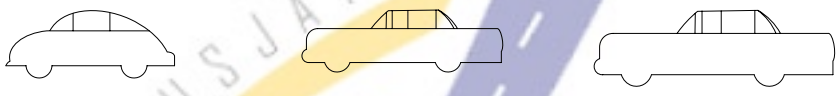
Perlu diperhatikan bahwa biaya operasi kendaraan mobil penumpang dan truk dianggap tetap untuk semua jenis lapis permukaan dan tidak mungkin dihitung untuk berbagai kondisi lapis permukaan.

Tabel 3. Kecepatan beberapa jenis kendaraan*

Jenis Kendaraan	Kecepatan Pada Jalan Datar (Km/Jam)		
	Diperkeras	Kerikil	Tanah
Mobil penumpang	80	64	56
Truk	72	56	48

JENIS KENDARAAN	% REDUKSI KECEPATAN				
	1	2	4	6	8
Mobil penumpang			7	14	23
Truk I			11	22	33
Truk II			15	30	42
Truk III dan IV	7	18	42	60	71

*Dari DeWeille dalam Yoder

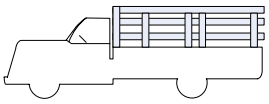


a1. Model Eropa a2. Model rata-rata a2. Model Amerika

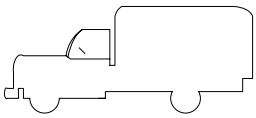
a. Kendaraan penumpang

b1. Panel b2. *Pickup*

b. Truk I (1 ton)

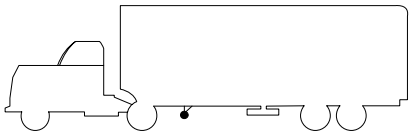


C1. Stake

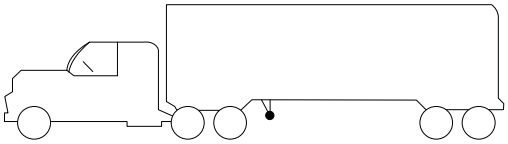


c2. *Van*

c. Truk II (3,5 ton)



d. Truk III (15 ton): *tractor-semitrailer*, 2-S2



e. Truk IV (18 ton): *tractor-semitrailer*, 3-S2

Gambar 6. Sketsa mobil penumpang dan truk (dari *DeWeille*)

PUSJATAN

Tabel 4. Biaya Operasi Mobil Penumpang Menurut Kecepatan Dan Jenis Lapis Permukaan*

Kecepatan Dan Biaya	Model Eropa			Model Rata-Rata			Model Amerika		
	Diper-Keras	Kerikil	Tanah	Diper-keras	Kerikil	Tanah	Diper-Keras	Kerikil	Tanah
Kecepatan (km/jam)	88	72	64	88	72	64	88	72	64
Biaya ($/1000 km)	19,21	24,17	30,90	25,25	31,77	40,77	31,27	39,34	50,59
Kecepatan (km/jam)	80	64	56	80	64	56	80	64	56
Biaya ($/1000 km)	19,84	25,49	32,59	26,10	33,48	42,65	32,29	41,34	53,21
Kecepatan (km/jam)	72	56	48	72	56	48	72	56	48
Biaya ($/1000 km)	20,64	27,06	35,04	27,10	35,42	46,00	33,50	43,71	56,91
Kecepatan (km/jam)	64	48	40	64	48	40	64	48	40
Biaya ($/1000 km)	22,04	29,53	38,65	28,87	38,49	50,44	35,63	47,61	62,24

Tabel 5. Biaya Operasi Truk Menurut Kecepatan Dan Jenis Lapis Permukaan*

Kecepatan Dan Biaya	Truk I			Truk Ii			Truk Iii			Truk Iv		
	Diper-Keras	Kerikil	Tanah	Diper-Keras	Kerikil	Tanah	Diper-Keras	Kerikil	Tanah	Diper-Keras	Kerikil	Tanah
Kecepatan (km/jam)	80	64	56	80	64	56	80	64	56	80	64	56
Biaya ($/1000 km)	35,06	45,74	64,29	52,23	73,52	115,51	84,92	122,23	202,12	82,46	127,06	216,45
Kecepatan (km/jam)	72	56	48	72	56	48	72	56	48	72	56	48
Biaya ($/1000 km)	35,58	47,79	67,90	51,33	74,65	117,90	79,15	121,91	20,29	77,76	124,08	219,01
Kecepatan (km/jam)	64	48	40	64	48	40	64	48	40	64	48	40
Biaya ($/1000 km)	36,61	51,44	72,57	51,39	76,45	121,21	77,77	124,38	210,04	78,41	126,46	227,48
Kecepatan (km/jam)	56	40	32	56	40	32	56	40	32	56	40	32
Biaya ($/1000 km)	39,70	56,19	80,02	52,45	79,90	127,41	77,61	129,19	220,51	78,14	129,87	233,83

*Dari DeWeille dalam Yoder

2.1.6.2 Biaya Tambahan Pengguna Jalan (*Added Road User Costs*, AUC)

Berbagai studi telah dilakukan terhadap biaya tambahan yang diakibatkan oleh penutupan jalan selama operasi pemeliharaan. Beberapa di antara hasil studi menyatakan biaya kemacetan dalam rumus matematika, sedangkan hasil studi lain menghasilkan biaya tipikal dalam tabel. Perlu diingat bahwa biaya tersebut tergantung pada banyak variabel. Contoh, di daerah terpencil di mana volume lalu-lintas rendah, perhitungan sedrhana mungkin agak lebih baik daripada persamaan-persamaan matematika.

Alasan hal di atas adalah, pada jalan dengan volume lalu-lintas rendah, pelaksanaan pemeliharaan mungkin hanya menimbulkan kesulitan kecil dan kemacetan hanya akan menimbulkan kerugian yang tidak berarti. Pada jalan dengan volume lalu-lintas tinggi, tidak diragukan lagi bahwa kemacetan akan menimbulkan kerugian yang besar.

Kerugian akibat kemacetan dapat merupakan bagian pengaturan lalu-lintas. Pada jalan dua lajur, lalu-lintas yang seharusnya melewati lajur yang sedang dilapis dapat dialihkan ke bahu, atau dapat dialihkan ke lajur yang lain melalui cara tutup-buka. Pada jalan yang terdiri atas beberapa lajur, terdapat beberapa cara pengaturan lalu-lintas yang dapat diterapkan selama operasi pemeliharaan. Pada kondisi bagaimanapun perlu diperkirakan profil kecepatan di sekitar bagian jalan yang sedang dipelihara.

Pada kasus lapang terbang, kerugian akibat penutupan dapat diperkirakan berdasarkan, antara lain, ketentuan biaya pendaratan (*landing fees*).

Pada Gambar 5 ditunjukkan data tentang biaya tambahan akibat penurunan kecepatan untuk tiga jenis kendaraan, yaitu, mobil penumpang, truk unit tunggal (*single-unit trucks*) serta gandengan semi (*semitrailers*) yang mempunyai sumbu tandem, baik pada unit penarik (*tractor*) maupun pada gandengan (dinyatakan dengan 3-S2).

2.1.6.3 Biaya Pemeliharaan Besar (lapis tambah)

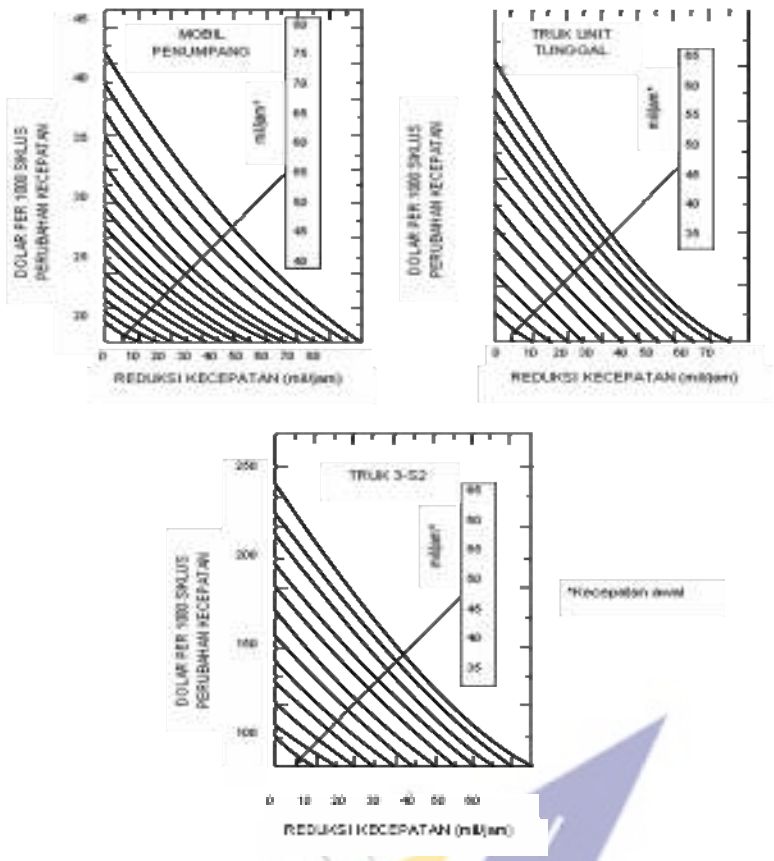
Biaya pemeliharaan besar dapat diperkirakan dengan beberapa teknik. Pertama, kurva desain biasanya menunjukkan hubungan antara jumlah lalu-lintas dengan tebal yang diperlukan; kemudian tebal dapat dinyatakan sebagai fungsi waktu. Selanjutnya, biaya yang diperlukan dapat dihitung.

2.1.6.4 Biaya Pemeliharaan Rutin

Secara kuantitatif, salah satu faktor ekonnomi yang paling sulit diestimasi adalah pemeliharaan rutin, karena pemeliharaan rutin terkait dengan faktor-faktor yang lain. Untuk keperluan pembahasan ini, pemeliharaan rutin sepenuhnya menyangkut lapis permukaan perkerasan, meskipun biaya yang dicatat oleh sebagian besar lembaga mencakup biaya pemeliharaan bahu, pembuangan salju, dsb. Untuk memperkirakan biaya pemeliharaan rutin telah dikembangkan beberapa model.

Karena alasan di atas, maka biaya pemeliharaan rutin perlu dievaluasi untuk setiap kasus dan perlu mengandalkan pada pengalaman masa lalu.

PUSJATAN



Gambar 7. Biaya pengguna jalan tambahan akibat perubahan kecepatan

2.1.6.5 Perubahan Biaya Pemeliharaan Rutin Menurut Waktu

Untuk kasus yang biasa, uang yang diperlukan untuk pemeliharaan rutin suatu jalan meningkat menurut waktu. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bahwa sesaat setelah pembangunan perkerasan selesai, biaya pemeliharaan adalah sangat rendah; namun sesuai dengan berjalannya waktu, biaya pemeliharaan rutin makin meningkat, karena kerusakan perkerasan makin meningkat.

Sesuai dengan konsep yang ditunjukkan pada Gambar 3, laju perubahan biaya sendiri (*in itself*) merupakan fungsi waktu. Namun demikian, dalam hal tersebut umumnya diasumsikan bahwa laju perubahan adalah tetap dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_r = M_r^1 + K\,(n\text{-}1) \quad \text{.....} \quad (15)$$

di mana,

M_r = biaya pemeliharan rutin selama tahun n

M_r^1 = biaya pemeliharaan rutin pada tahun pertama

K = kenaikan biaya per tahun

n = jumlah tahun

2.1.6.6 Jenis Pemeliharaan Rutin

Biaya pemeliharaan rutin dapat diestimasi berdasarkan jenis pemliharaan. Untuk perkerasan beraspal, jenis pemeliharan rutin mencakup pelaburan (*sealing*), mungkin setiap 10 tahun, dan penambalan dan penyumbatan retak. Untuk perkerasan beton semen, biaya pemeliharaan rutin terutama diperlukan untuk penyumbatan sambungan dan retak serta penambalan.

2.1.7 Sensitivitas Faktor-faktor Biaya

2.1.7.1 Umum

Analisis ekonomi yang diuraikan di atas menghasilkan jawaban numerik yang dapat digunakan hanya sebagai pedoman bagi perencana dalam melakukan desain. Hal tersebut dikarenakan faktor-faktor yang digunakan tergantung pada pertimbangan (*judgment*) analis serta berkaitan dengan banyak faktor lain.

Menurut sejarahnya, desain perkerasan terkait dengan evaluasi kekuatan tanah dasar serta estimasi lalu-lintas yang akan menggunakan perkerasan;

selanjutnya, berdasarkan data tersebut, perencana memilih struktur perkerasan. Umumnya, umur rencana perkerasan ditetapkan, atau setidak-tidaknya secara tidak langsung dinyatakan dalam analisis.

Pada saat mempertimbangkan beberapa alternatif desain, beberapa faktor menjadi kritis, sedangkan faktor-faktor lain menjadi tidak sensitif. Setiap saat, perencana harus memperhatikan hal tersebut. Paragraf di bawah menguraikan pembahasan ringkas tentang sensitifitas faktor-faktor dalam mempengaruhi analisis ekonomi.

2.1.7.2 Pengaruh Nilai Sisa

Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 10 sampai 12, nilai sisa perkerasan pada akhir periode analisis direduksi ke nilai sekarang dan makin menurun sesuai dengan bertambahnya waktu. Apabila nilai sisa perkerasan setelah 20 tahun adalah 30 persen dari nilai awal dan apabila suku bunga adalah 10 persen, maka faktor nilai sekarang (PW) untuk 20 tahun adalah 0,1486 dan untuk 40 tahun adalah 0,0221. Hal tersebut berarti bahwa untuk kondisi yang diasumsikan, nilai sekarang tenatng nilai sisa adalah seperti yang ditunjukkan di bawah.

Untuk 20 tahun:

Nilia sekarang nilai sisa = I_c (0,30)(0,1486) = 0,0445 I_c

Total nilai sekarang = 100 – 4,45 = 95,5 persen

Untuk 40 tahun:

Nilia sekarang nilai sisa = I_c (0,30)(0,0221) = 0,00663 I_c

Total nilai sekarang atau biaya awal efektif = 100 – 0,66 = 99,3 persen

Apabila periode analisis ditetapkan 40 tahun, maka nilai sisa dapat dianggap sama dengan nol. Meskipun untuk periode analisis yang lebih pendek, nilai sisa mempunyai pengaruh yang kecil terhadap keputusan akhir.

2.1.7.3 Sensitivitas Lalu-lintas

Pada banyak kasus, jumlah lalu-lintas mempunyai pengaruh yang besar pada analsis biaya. Tabel 6 menunjukkan pengaruh volume lalu-lintas terhadap biaya untuk berbagai kondisi. Pada Tabel 6 ditunjukkan bahwa untuk perkerasan di atas tanah dasar yang jelek (CBR = 2%), pentahapan optimum sangat dipengaruhi oleh volume lalu-lintas; di sisi lain, untuk perkerasan di atas tanah dasar yang baik (CBR = 11%), pengaruh pertumbuhan lalu-lintas adalah kurang sensitif.

Secara umum, untuk perkerasan yang melayani lalu-lintas rendah dan relatif tipis, pentahapan optimum hampir tidak dipengaruhi volume lalu-lintas. Pada kasus tersebut, pentahapan optimum adalah sekitar 10 – 12 tahun. Untuk perkerasan di atas tanah dasar yang jelek (memerlukan perkerasan yang tebal), pentahapan optimum meningkat menurut pertumbuhan lalu-lintas.

Berdasarkan alasan di atas, maka pembanguan bertahap untuk perkerasan yang melayani lalu-lintas padat menjadi tidak ekonomis, karena penutupan jalan akan mengakibatkan kerugian (biaya pengguna jalan tambahan) yang tinggi. Namun demikian, untuk perkerasan yang melayani lalu-lintas tidak padat, sebaiknya digunakan pendekatan pembangunan bertahap yang paling ekonomis, umumnya pada inetrval 10 tahun.

Tabel 6. Pengaruh volume lalu-lintas terhadap biaya[1)]

CBR TANAH DASAR (%)	LHR AWAL[2)]	PERTUMBUHAN LALU-LINTAS (%)	PENTAHAPAN OPTIMUM (thn)
2	5×10^4	2	10
		6	12
		10	13
	1×10^5	2	12
		6	18
		10	25
11	5×10^4	2	10
		6	10
		10	10

CBR TANAH DASAR (%)	LHR AWAL[2)]	PERTUMBUHAN LALU-LINTAS (%)	PENTAHAPAN OPTIMUM (thn)
	1×10^5	2	10
		6	11
		10	14

[1)]Memperhitungkan biaya pengguna jalan tambahan dan suku bunga 6%
[2)]Ekivalen 18.000-*pound* beban tunggal

2.1.7.4 Pengaruh Biaya Pengguna Jalan Tambahan

Tabel 7 menunjukkan pengaruh beberapa variabel terhadap pentahapan, di mana biaya pengguna jalan tambahan akibat penutupan jalan merupakan kepentingan utama. Untuk jalan dengan lalu-lintas rendah, terutama bila tanah dasarnya baik sehingga perkerasan tipis, biaya tambahan pengguna jalan tambahan akibat operasi pemeliharaan mempunyai konsekwensi yang rendah dan mempuyai pengaruh yang kecil terhadap analisis.

Tabel 7. Pengaruh biaya pengguna jalan tambahan[1)]

CBR TANAH DASAR (%)	LHR AWAL[2)]	BIAYA TAMBAHAN DITINJAU?	PENTAHAPAN OPTIMUM (thn)
2	5×10^4	Ya	9
		Tidak	9
	1×10^5	Ya	20
		Tidak	15
11	5×10^4	Ya	10
		Tidak	10
	1×10^5	Ya	17
		Tidak	14

[1)]Suku bunga 13% dan pertumbuhan lalu-lintas 6%
[2)]Ekivalen 18.000-*pound* beban tunggal

Untuk jalan dengan lalu-lintas sangat padat, biaya pengguna jalan tambahan menjadi tinggi dan sering merupakan faktor yang menentukan desain.

Biaya pengguna jalan di atas perlu mendapat perhatian yang seksama, karena pada jalan bebas hambatan dan jalan lain yang sangat padat, penutupan jalan akan mengakibatkan kerugian yang besar sehingga membatasi setiap upaya pemeliharaan. Pada kasus-kasus tersebut, bila memungkinkan, sebaiknya dipilih konstruksi awal yang kuat dengan biaya pemeliharaan yang seminimum mungkin.

2.1.7.5 Sensitivitas Suku Bunga

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi analisis adalah suku bunga. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 8.

Kenaikan suku bunga memberikan manfaat untuk menunda pembayaran investasi, sejauh memungkinkan. Untuk suku bunga sampai 20 persen, meskipun untuk lalu-lintas sangat tinggi, dapat ditunjukkan bahwa pembangunan bertahap merupakan pendekatan yang paling ekonomis, karena hal tersebut dapat menangguhkan pembayaran investasi beberapa saat. Pada saat melakukan analisis kasus-kasus tersebut, cara terbaik sebelum pengambilan keputusan ahir terhadap disain yang dipilih adalah melakukan sekurang-kurangnya dua pemecahan untuk dua suku bunga.

Tabel 8. Pengaruh suku bunga[1)]

CBR TANAH DASAR (%)	LHR AWAL[2)]	SUKU BUNGA (%)	PENTAHAPAN OPTIMUM (thn)
2	5×10^4	6	12
		13	9
		20	7
	1×10^5	6	35
		13	20
		20	12
11	5×10^4	6	10
		13	10
		20	10
	1×10^5	6	35

CBR TANAH DASAR (%)	LHR AWAL[2)]	SUKU BUNGA (%)	PENTAHAPAN OPTIMUM (thn)
		13	17
		20	12

[1)]Biaya pengguna jalan tambahan ditinjau dan pertumbuhan lalu-lintas 6%
[2)]Ekivalen 18.000-*pound* beban tunggal

2.1.7.6 Lama Periode Analisis

Lama periode analisis yang diberlakukan tergantung pada, setidak-tidaknya sebagian, nilai sisa yang diasumsikan. Sebagian besar ahli ekonomi setuju bahwa demi konservatisme, periode analisis sebaiknya pendek.

Penggunaan periode analisis yang pendek lebih jauh dibenarkan untuk analisis perkerasan, karena menjadi perlu untuk memastikan asumsi, relatif terhadap kondisi perkerasan pada berbagai interval waktu. Mengingat analisis merupakan alat perencanaan (*planning tool*), maka keputusan ahir realtif terhadap jenis pasti pemeliharaan besar tidak dapat dibuat sampai dicapai saat yang sebenarnya untuk pemeliharaan. Umumnya, pengukuran lendutan dilakukan dan pada saat tersebut diambil keputusan ahir relatif terhadap tebal lapis tambah, dan seterusnya.

2.1.7.7 Inflasi

Analisis ekonomi didasarkan pada harga sekarang. Dalam hal tersebut, harga-harga yang sama diberlakukan untuk mengestimasi biaya yang akan datang. Winfrey menyatakan bahwa inflasi mungkin lebih sulit diramal daripada harga, dan apabila dicoba, mungkin akan menimbulkan ketidakpastian yang lain pada analisis ekonomi.

Penggunaan faktor inflasi dipastikan memberikan pilihan terhadap investasi yang lebih tinggi saat ini. Di sisi lain, ekonomi nasional juga berkembang dan pengaruh inflasi diseimbangkan. Winfrey menyimpulkan bahwa

“pengabaian faktor inflasi merupakan praktek dan konsep yang lebih disukai”.

Ide di atas dipertahankan secara luas dan merupakan praktik yang biasa untuk mengabaikan inflasi sebagai faktor pada saat membandingkan beberapa alternatif. Hanya pada saat inflasi menjadi “tidak seimbang” benar-benar mempunyai pengaruh yang nyata. Contoh, apabila harga riil pelapisan ulang meningkat pada laju yang tinggi dari kecenderungan harga umum, maka hal tersebut akan menjadi benar. Apabila terdapat perbedaan besar antara kenaikan harga pelapisan ulang dengan kecenderungan harga umum pada perekonomian, maka penggunaan perkerasan awal yang lebih kuat mungkin dibenarkan.

2.1.8 Ilustrasi Perhitungan

2.1.8.1 Umum

Paragraf di bawah menunjukkan contoh beberapa perhitungan untuk berbagai kondisi. Untuk mengilustrasikan metoda, persoalan dibuat sederhana dan dipecahkan bagian demi bagian. Untuk kasus nyata, semua faktor yang mempengaruhi keputusan perlu ditinjau. Dengan demikian, pada beberapa kasus, perhitungan akan memerlukan waktu yang lama, apabila seseorang meninjau biaya pengguna jalan, biaya pemeliharaan rutin, dan biaya pemeliharaan besar pada suatu kasus tunggal.

2.1.8.2 Harga Satuan

Untuk ilustrasi di bawah, biaya pengguna jalan adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 sampai 5 dan Gambar 5, sedangkan harga bahan ditunjukkan di bawah. Perlu diketahui bahwa harga-harga yang digunakan pada contoh ini adalah realtif dan akan berubah menurut waktu dan lokasi. Setiap perubahan harga tersebut mempunyai pengaruh netto dari kenaikan

atau penurunan nilai dolar dengan rasio yang tetap (*fixed*); pemilihan alternatif tidak berubah.

Harga bahan di tempat:

Beton aspal: \$ 25 per ton, \$ 125/yd^2/in.
Bahan lapis pondasi atas granular: \$ 5,00 per ton, \$ 0,25/yd^2/in.
Bahan lapis pondasi bawah granular: \$ 3,00 per ton, \$ 0,15/yd^2/in.
Laburan aspal: \$ 0,75 per yd^2 per lapis.
Seal coat: \$ 0,50 per yd^2 per lapis.

2.1.8.3 Ilustrasi 1: Pemeliharaan Besar

Untuk contoh ini, LHR awal adalah 1000 kendaraan per hari dengan komposisi 40 persen truk, 50 persen unit tunggal dan 10 persen truk S-2. Dua alternatif disain perkerasan ditunjukkan di bawah.

ALTERNATIF I (UMUR 20 th)		ALTERNATIF II (BERTAHAP 10 th)	
Lapis permukaan	: 4 in	Lapis permukaan	: 2½ in
Lapis pondasi atas	: 6 in	Lapis pondasi atas	: 6 in
Lapis pondasi bawah	: 18 in	Lapis pondasi bawah	: 18 in
Pelaburan (*seal*) setiap 10 tahun		Lapis ulang setiap 10 thn	: 2 in

Contoh perhitungan ditunjukkan pada Tabel 6. Pada contoh ini, lapis ulang yang sebenarnya diperlukan untuk Alternatif II adalah 1½ in, namun untuk mengatasi pengaruh keausan, tebal lapis ulang ditetapkan 2 in.

Terlihat bahwa Alternatif II ternyata lebih ekonomis. Pada beberapa kasus, penggunaan faktor inflasi mungkin perlu dipertimbangkan. Penggunaan faktor inflasi hanya dibenarkan (*justified*) pada saat kenaikan harga tidak seimbang dan tidak proporsional. Apabila kecenderungan perbedaan harga pelapisan (relatif terhadap harga umum) di masa mendatang cukup besar dan cukup pasti, maka pengaruh inflasi perlu dikaji melalui analisis sensitifitas. Hal tersebut mungkin pada Contoh 1 dihasilkan kesimpulan

yang terbalik. Untuk analisis tersebut, nilai sisa merupakan fungsi dari investasi awal. Mudah dipahami bahwa nilai sisa yang berbeda perlu digunakan terhadap pelapisan ulang. Pada kasus apa pun, nilai sisa adalah sedemikian rendah sehingga pengaruhnya diabaikan. Apabila tingkat pengembalian (*rate of return*) lebih besar dari sekitar 7%, maka nilai sisa dalam analisis umumnya menjadi tidak sensitif.

Tabel 9. Perbandingan alternatif pemeliharaan besar (*i* = 8% per tahun)

URAIAN	ALTERNATIF I ($/yd^2)		ALTERNATIF II ($/yd^2)	
Lapis permukaan	I_c = (4)(1,25	= 5,00	I_c = (2½)(1,25	= 3,12
Lapis pondasi atas	I_c = (6)(0,25)	= 1,50	I_c = (6)(0,25)	= 1,50
Lapis pondasi bawah	I_c = (18)(0,15)	= 2,70	I_c = (18)(0,15)	= 2,70
Total	I_c	= 9,20	I_c	= 7,32
Pemeliharaan	Laburan (*seal*)	= 0,50	M_m = 2(1,25)	= 2,50
@ 10 tahun	(seal)(PW) = (0,5)(0,463)	= 0,23	(M_m)(PW) = (2,5)(0,463)	= 1,16
Total nilai sekarang		= 9,43		= 8,48
Nilai sisa (30%)	(0,3)(9,20)(0,215)	= 0,59	(0,3)(7,32)(0,215)	= 0,47
Biaya awal efektif		= 8,84		= 8,01

Biaya perkerasan (lebar 24 ft) per mil (nilai sisa nol)

Alternatif I = (9,43)(8)(1760) = $ 132.774

Alternatif II = (8,48)(8)(1760) = $ 119,398

2.1.8.4 Ilustrasi 2: Pemeliharaan Rutin

Semua faktor pada contoh ini adalah sama dengan semua faktor pada Contoh 1. Biaya awal pemeliharaan rutin adalah $ 75 per mil dengan laju kenaikan $ 15 per tahun (lihat Tabel 10). Perbedaan utama Alternatif I dan Alternatif II adalah, pemeliharaan rutin pada Alternatif II dimulai kembali pada tahun kesebelas.

Total nilai sekarang pada Contoh 1 setelah ditambah biaya pemeliharaan rutin adalah sebagai berikut:

Alternatif I : $ 132.774 + $ 1.770 = $ 135.544

Alternatif II : $ 110.528 + $ 1.350 = $ 111.835

Tabel 10. Biaya pemeliharaan rutin pada Contoh 2

n	$(PW)_n$ (8%)	ALTERNATIF I		ALTERNATIF II	
		BIAYA ($/mil)	NILAI SEKA-RANG ($/mil)	BIAYA ($/mil)	NILAI SEKA-RANG ($/mil)
1	0,926	75	69,44	75	69,44
2	0,857	90	77,16	90	77,16
3	0,794	105	83,35	105	83,35
4	0,735	120	88,20	120	88,20
5	0,681	135	91,88	135	91,88
6	0,630	150	94,53	150	94,53
7	0,583	165	96,28	165	96,28
8	0,540	180	97,25	180	97,25
9	0,500	195	97,55	195	97,55
10	0,463	210	97,27	210	97,27
11	0,429	225	96,50	75	32,17
12	0,397	240	95,31	90	35,74
13	0,368	255	93,76	105	38,61
14	0,340	270	91,92	120	40,86
15	0,315	285	89,84	135	42,56
16	0,292	300	87,57	150	43,78
17	0,270	315	85,13	165	44,59
18	0,250	330	82,58	180	45,04
19	0,232	345	79,94	195	45,18
20	0,215	360	77,24	210	45,06
Total ($)	-	-	1770,54	-	1305,50

2.1.8.5 Ilustrasi 3: Biaya Pengguna Jalan Serta Biaya Jalan Kerikil Dibandingkan dengan Jalan Diperkeras

Diketahui : LHR awal = 50 kendaraan/hari

Pertumbuhan lalu-litas (*r*) = 4%

Suku bunga (*i*) = 8%

Komposisi lalu-lintas

Mobil penumpang rata-rata = 50% LHR

Truk I = 20% LHR

Truk II = 20% LHR

Truk III = 10% LHR

Terein (kecepatan ditunjukkan pada Tabel 3)

Faktor PW (lihat Tabel 1)

Faktor PW (lihat Tabel 1)

Tabel 11. Biaya operasi kendaraan dan biaya pemeliharaan*

n	$(PW)_r$ (r = 4%)	$(PW)_i$ (i = 8%)	$(PW)_i/(PW)_r$	$\Sigma(PW)_i/(PW)_r$
1	0,9615	0,9259	0,963	0,963
2	0,9246	0,8573	0,927	1,890
3	0,8890	0,7938	0,893	2,783
4	0,8548	0,7350	0,860	3,643
5	0,8219	0,6806	0,828	4,471
6	0,7903	0,6302	0,797	5,268
7	0,7599	0,5835	0,768	6,036
8	0,7307	0,5403	0,739	6,776
9	0,7026	0,5002	0,712	7,488
10	0,6756	0,4632	0,686	8,173
11	0,6496	0,4289	0,660	8,834
12	0,6246	0,3971	0,636	9,469
13	0,6006	0,3677	0,612	10,082
14	0,5775	0,3405	0,590	10,671
15	0,5553	0,3152	0,568	11,239
16	0,5339	0,2919	0,547	11,786
17	0,5134	0,2703	0,526	12,312
18	0,4936	0,2502	0,507	12,819
19	0,4746	0,2317	0,488	13,307
20	0,4564	0,2145	0,470	13,777

*pertumbuhan lalu-lintas = 4%; suku bunga = 8%

Jalan diperkeras (dolar/1000 km/tahun)

RUC, mobil pnmp, 80 km/jam = (0,5)(50)(26,1)(365) = $ 238.162

RUC, Truk I, 72 km/jam = (0,2)(50)(35,58)(365) = $ 129.867

RUC, Truk II, 72 km/jam = (0,2)(50)(51,33)(365) = $ 187.354

RUC, Truk III, 72 km/jam = (0,2)(50)(79,15)(365) = $ 144.448

Total = $ 699.831

Jalan kerikil (dolar/1000 km/tahun)

RUC, mobil pnp, 64 km/jam	= (0,5)(50)(33,48)(365)	= $ 305.505
RUC, Truk I, 56 km/jam	= (0,2)(50)(47,79)(365)	= $ 174.433
RUC, Truk II, 56 km/jam	= (0,2)(50)(74,65)(365)	= $ 272.472
RUC, Truk III, 56 km/jam	= (0,2)(50)(121,91)(365)	= $ 222.486
Total		= $ 974.895

RUC: Running user cost, atau running vehicle cost.

Total RUC, jalan diperkeras (20 thn) : (699.831/1000)(13,769 = $ 9.635/km

Total RUC, jalan kerikil (20 thn) : (699.831/1000)(13,769 = $ 9.635/km

Alternatif perkerasan

Jalan kerikil: tebal 6 in, diganti setiap 5 tahun

Jalan diperkeras

Lapis pondasi bawah : 6 in

Lapis pondasi atas : 6 in

Lapis permukaan awal : Laburan aspal dua lapis

Laburan aspal satu lapis setiap 10 tahun

Biaya jalan kerikil

Total nilai sekarang $= 1,5\ [1 + (PW)_5 + (PW)_{10} + (PW)_{15}]$

$= 1,5\ [1 + 0,6806 + 0,4632 + 0,3152]$

$= 1,5\ [2,459] = \$\ 3,68$/tahun

Biaya jalan diperkeras

$I_c = 6(0,25) + 6(0,15) + 2(0,75) = \$\ 3,90$

Total nilai sekarang $= I_c + 0,75(PW)_{10} = 3,90 + 0,75(0,4632) = \$\ 4,25/yd^2$

Untuk jalan dengan lebar 6 meter (19,7 ft)

Biaya total jalan kerikil

Perkerasan = (3,68)(1,19)(6)(1000)	= $ 26.275/km
RUC	= $ 13.423/km
Total	= $ 39.698/km

Biaya total jalan diperkeras

Perkerasan = (4,25)(1,19)(6)(1000)	= $ 30.345/km
RUC	= $ 9.635/km
Total	= $ 39.980/km

Pada contoh ini, jalan kerikil agak lebih ekonomis daripada jalan diperkeras. Untuk contoh ini, perbedaan biaya adalah sedemikian kecil sehingga pertimbangan lain di luar aspek ekonomi mungkin lebih menentukan pemilihan desain.

2.1.9 Pembangunan Bertahap yang Optimum

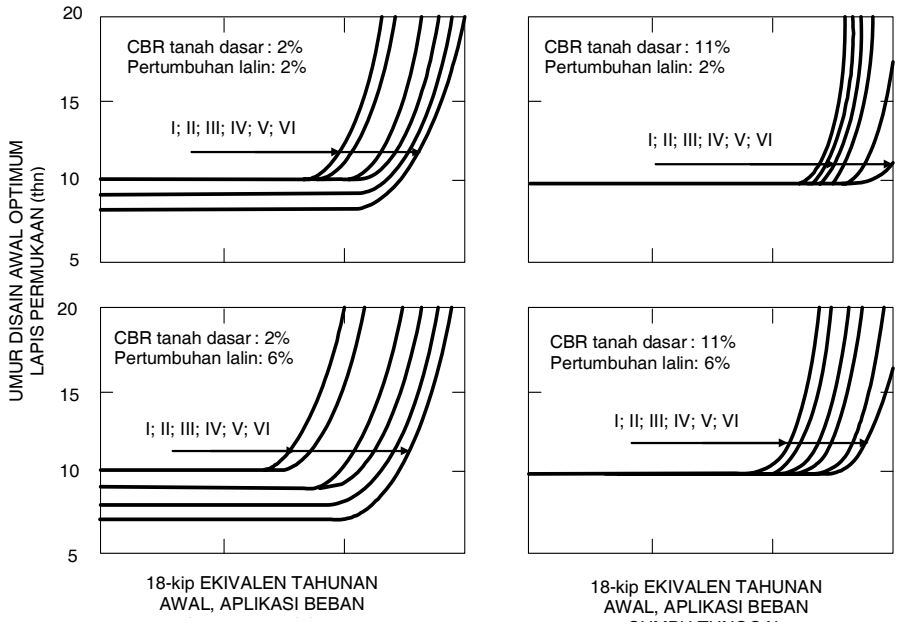
Berdasarkan periode yang paling ekonomis, seorang perencana (*planner*) harus memutuskan pembangunan bertahap. Dalam hal tersebut terdapat banyak kemungkinan desain dan desain yang paling ekonomis tergantung pada biaya relatif berbagai komponen perkerasan serta panjang waktu yang diusulkan untuk pentahapan pembangunan.

Gambar 6 menunjukkan hasil studi analitik tentang umur pelayanan disain awal optimum (biaya paling rendah) lapis permukaan sebagai fungsi lalu-lintas. Data pada Gambar 6 diperoleh dengan mengasumsikan berbagai kondisi disain dan menggunakan kriteria tebal serta menghitung data biaya untuk kondisi tersebut.

Analisis yang ditunjukkan pada Gambar 6 dilakukan dengan dan tanpa peninjauan biaya pengguna jalan tambahan yang dihasilkan dari operasi pelapisan ulang. Lebih jauh, analisis menganggap bahwa semua tahap mempunyai lama yang sama terhadap tahap awal.

Interval desain optimum untuk pelapisan ulang terlihat tidak tergantung pada suku bunga yang diperhitungkan pada analisis. Untuk jalan dengan volume lalu-lintas rendah, interval pentahapan yang menghasilkan biaya paling rendah umumnya adalah 10 tahun atau kurang, tergantung pada

pertumbuhan lalu-lintas yang diantisipasi serta kekuatan tanah dasar. Untuk jalan dengan volume lalu-lintas tinggi, jumlah tahun adalah jauh lebih besar. Dalam hal tersebut, suku bunga investasi mempunyai pengaruh yang besar.



No.	kurva	Keterangan
I	6%	bunga, Biaya Pengguna Jalan Tambahan ditinjau
II	6%	bunga, Biaya Pengguna Jalan Tambahan tidak ditinjau
III	13%	bunga, Biaya Pengguna Jalan Tambahan ditinjau
IV	13%	bunga, Biaya Pengguna Jalan Tambahan tidak ditinjau
V	20%	bunga, Biaya Pengguna Jalan Tambahan ditinjau
VI	20%	bunga, Biaya Pengguna Jalan Tambahan tidak ditinjau

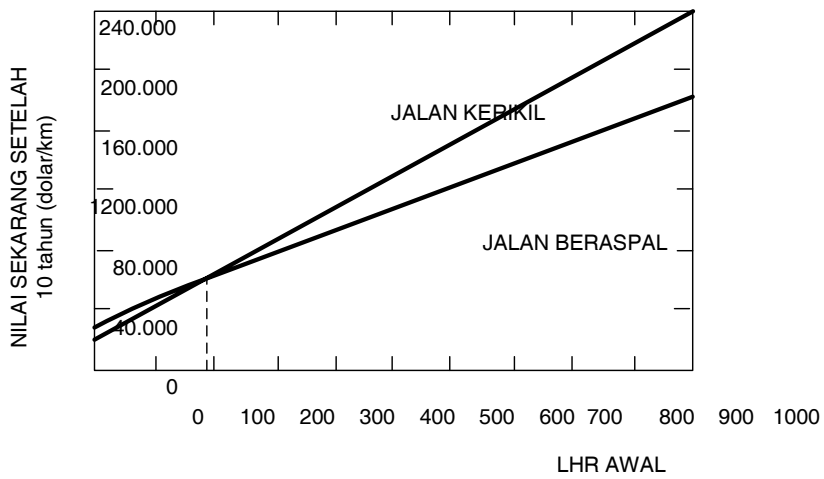
Gambar 8. Umur pelayanan desain awal optimum lapis permukaan

Data yang ditunjukkan pada Gambar 6 dapat digunakan sebagai pedoman untuk menetapkan program bertahap, namun untuk kasus spesifik,

hendaknya digunakan Persamaan 12 dan disain alternatif dievaluasi seperti yang ditunjukkan pada contoh perhitungan. Untuk keperluan perencanaan umum (*planning*), perencana dapat melakukan analisis biaya pilihan untuk berbagai desain dan berdasarkan hal tersebut melakukan pertimbangan yang beralasan tentang disain yang paling ekonomis untuk setiap kondisi setempat. Analisis jenis tersebut hanya dapat dilakukan apabila kekuatan bahan dan estimasi lalu-lintas yang diantisipasi telah diketahui.

2.1.10 Perbandingan Jalan Kerikil dengan Jalan Diperkeras

Keputusan pemilihan jalan diperkeras bila dibandingkan dengan jalan kerikil tergantung pada banyak faktor, termasuk gangguan debu, biaya pemeliharaan, dan biaya pengguna jalan. Gambar 7 menunjukkan analisis untuk suatu jalan di mana biaya sekarang jalan kerikil dibandingkan dengan biaya sekarang jalan diperkeras. Untuk kasus tersebut, titik kembali modal (*the break-even point*), di mana masing-masing lapis permukaan mempunyai biaya tahunan rata-rata yang sama, adalah kira-kira 180 kendaraan per hari. Keputusan untuk kondisi lokal harus dibuat setelah analisis yang seksama tentang biaya pemeliharaan dan biaya pengguna jalan pada kondisi yang sudah diketahui. Biaya pengguna jalan dapat ditentukan dengan menggunakan data pada Tabel 3 sampai 5. Biaya pemeliharaan jalan kerikil tergantung pada cuaca. Pada daerah yang mempunyai curah hujan tinggi di mana tanah dasar dipengaruhi oleh air kapiler, jalan kerikil dapat cepat rusak. Pada daerah bercuaca kering, jalan kerikil dapat berumur lebih panjang, namun akibat lalu-lintas dan kehilangan ikatan, lapis permukaan akan mudah hilang.



Gambar 9. Contoh biaya jalan kerikil dan biaya jalan beraspal

Oglesby dan Altenhofen telah menyarakan bahwa titik kembali modal jalan kerikil, dalam perbandingan dengan jalan diperkeras, adalah kira-kira 100 kendaraan per hari, meskipun diketahui bahwa hal tersebut tergantung pada banyak faktor dan antara suatu lokasi dengan lokasi lain sangat berbeda.

2.1.11 Rangkuman, Analisis Ekonomi

Data yang telah diuraikan terdahulu telah menyarankan teknik untuk melakukan survei perencanaan umum dan melakukan analisis ekonomi. Seluruh disain, baik untuk struktur perkerasan maupun drainase, sebagian besar tergantung pada kemampuan insinyur untuk meramal kondisi di masa yang akan datang. Oleh karena itu, maka perhatian perlu benar-benar diberikan terhadap pengumpulan data selama umur struktur dan melakukan pencatatan seksama tentang kinerja struktur bersama-sama dengan semua faktor yang mempengaruhi kinerja. Demikian juga, pencatatan yang teliti tentang biaya perlu mendapat perhatian.

Faktor yang kemungkinan paling lemah yang harus diperhatikan dalam analisis ekonomi adalah metode untuk mengestimasi biaya pemeliharaan rutin. Metode estimasi biaya pemeliharaan rutin suatu daerah mungkin dapat atau tidak dapat diberlakukan untuk daerah lain, tergantung pada banyak faktor. Perlu disadari bahwa analisis ekonomi sangat tergantung pada mutu data yang digunakan. Oleh karena itu, tuntutan untuk melakukan pemilihan nilai-nilai disain tentatif yang realistis sangatlah penting.

2.2 Analisis Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost Analysis*)

2.2.1 Umum

Sebuah pilihan hemat biaya selama umur rencana adalah sangat penting dalam memutuskan suatu alternatif pekerjaan infrastruktur. Keputusan pengeluaran secara ekonomis memerlukan analisis rinci dalam membuat pilihan yang tepat. Biaya awal yang rendah diimbangi dengan umur yang yang pendek dan biaya masa depan yang relatif tinggi.

Nilai waktu (*time value of money*), dan prosedur yang baik adalah pertimbangan penting dalam proses pengambilan keputusan sebagai suatu analisis formal menggunakan rekayasa ekonomi (*engineering economics*). Perencana dapat melakukan hal ini dan bahkan tidak tahu bahwa mereka menggunakan proses ekonomi. Memperkirakan biaya desain alternatif dan kemudian membandingkannya adalah rekayasa ekonomi. Hal ini, dilakukan untuk menemukan desain yang paling memenuhi kebutuhan pengguna pada kondisi volume lalu lintas dan beban tertentu, dengan biaya pelaksanaan dan biaya pemeliharaan terrendah.

Rekayasa ekonomi menyediakan cara untuk memilih antara alternatif bila pengeluaran dana modal mulai berperan.

Analisis biaya siklus hidup (LCCA), adalah proses evaluasi ekonomi yang paling tepat dalam memutuskan sejumlah alternatif. Analisis ini mempertimbangkan biaya pelaksanaan, rehabilitasi, pemeliharaan fasilitas, dan dampak pengguna selama periode masa rencana. Dua definisi yang penting adalah:

1) Biaya siklus hidup - Penilaian ekonomi salah satu *item*, daerah, sistem, atau fasilitas dan alternatif desain mempertimbangkan semua biaya kepemilikan yang signifikan atas umur ekonomi, yang dinyatakan dalam istilah setara dengan dolar.
2) Disain siklus hidup - Analisis yang mempertimbangkan pelaksanaan, operasi, dan pemeliharaan fasilitas selama masa rencana.

Biaya siklus hidup meliputi semua biaya yang diharapkan selama masa rencana. Analisis ini termasuk pertukaran antara faktor-faktor yang dapat mempengaruhi biaya siklus hidup suatu perkerasan jalan seperti hubungan antara biaya awal pembangunan dan biaya pemeliharaan masa depan. Analisis mensyaratkan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi konsekuensi ekonomi dari berbagai alternatif dari waktu ke waktu.

Setiap alternatif dievaluasi untuk membuat pilihan yang tepat dan melaksanakan seleksi. Proses ini meliputi model berdasarkan konsep-konsep terkait dengan analisis diskonto arus kas (*discounted cash flow)*. Semua biaya diperkirakan terjadi selama masa pakai suatu jalan, dikonversi ke biaya tahunan yang setara untuk tujuan perbandingan. Mempertimbangkan biaya mungkin terjadi selama masa pakai proyek ini dalam analisis LCC. Biaya dirangkum dari waktu ke waktu dengan mendiskontokan semua biaya yang terjadi pada waktu yang berbeda menggunakan metode nilai sekarang (*Present Worth*) untuk memperhitungkan nilai waktu dan disajikan sebagai total nilai sekarang atau biaya tahunan.

Biaya pelaksanaan perkerasan umumnya terkait dengan faktor biaya (*Cost Factor*):

1) Biaya Awal Konstruksi.
2) Biaya pemeliharaan
3) Biaya rehabilitasi
4) Biaya pengguna
5) Nilai sisa (*Salvage*)
6) Biaya energi

2.2.2 Rekayasa Ekonomi

Ada empat konsep yang membentuk dasar metode analisis siklus hidup (US, Utah DoT, 2007), yaitu.

- Nilai waktu (*time value of money*)
- Peluang biaya modal (*opportunity cost of capital*)
- *Discount rate*
- Periode analisis

2.2.2.1 Nilai Waktu *(Time Value Of Money)*

Atribut nilai waktu ditentukan oleh dua faktor yaitu tingkat pengembalian (*rate of return*) dan inflasi.

1) Tingkat Pengembalian (*Rate of Return*)

Tingkat pengembalian adalah jumlah uang yang diperoleh dari penggunaan modal. Bunga pada rekening tabungan menggambarkan *rate of ret*urn. Angka ini dihitung untuk investasi tertentu. Kompleksitas penentuannya bervariasi tergantung pada lama waktu yang dipertimbangkan untuk investasi.

2) Inflasi

Inflasi merupakan peningkatan umum dalam tingkat harga seluruh perekonomian. Nilai dolar yang sekarang lebih besar dari satu dolar di masa depan. Penggunaan tingkat inflasi bisa menyebabkan hasil yang tidak akurat karena analisis desain proyek sampai 50 tahun. Inflasi mempengaruhi segmen ekonomi dengan berbagai cara. Inflasi di

industri konstruksi mungkin berbeda dengan konsumen umum. Hal ini menyulitkan untuk memilih angka yang sesuai untuk alternatif yang dipertimbangkan.

Suatu keragaman pendapat penanganan inflasi ada dalam analisis LCC. Dua jenis perubahan harga adalah inflasi dan tren perbedaan harga. Kenaikan harga secara umum terjadi di seluruh perekonomian selama periode inflasi. Perbedaan antara perubahan harga untuk setiap item dievaluasi dan tren harga keseluruhan ekonomi adalah perbedaan harga.

Suatu pilihan antara nilai dolar "konstan" dan "saat ini" harus dilakukan selama analisis ekonomi. Dolar saat ini merupakan tingkat harga masa depan yang diproyeksikan untuk biaya di masa mendatang. Perencana jalan raya biasanya tidak menyertakan inflasi ketika menganalisis alternatif karena ketidakpastian dalam memprediksi tingkat inflasi di masa depan. Metode dolar konstan biasanya dipilih karena perbedaan inflasi hanya pada biaya masa depan yang perlu diidentifikasi.

2.2.2.2 Peluang Biaya Modal (*Opportunity Cost Of Capital*)

Biaya peluang merupakan kesempatan tak terelakkan untuk tingkat pengembalian yang diharapkan atas modal bila modal melayani tujuan lain. Kembalinya potensi yang hilang pada sebuah proyek merupakan biaya peluang jika proyek jalan raya yang didanai ditangguhkan untuk menginvestasikan dana.

2.2.2.3 *Discount Rate*

Penggunaan tingkat diskonto (*doscount rate*) sebagai sarana untuk membandingkan penggunaan alternatif dana dengan mengurangi biaya atau keuntungan di masa depan. Tingkat diskonto mengurangi biaya atau

keuntungan untuk nilai biaya sekarang atau biaya tahunan. Kondisi ekonomi dari alternatif selanjutnya dapat dibandingkan. Tingkat suku bunga berjangka terkait dengan meminjam uang, sering disebut tingkat bunga pasar. Hal ini termasuk uang untuk ongkos inflasi, dan pengembalian yang mewakili biaya modal riil. Penggunaan tingkat diskonto karena nilai uang hari ini lebih berharga daripada hari berikutnya menciptakan daya beli masyarakat yang lebih besar.

Bunga dan inflasi cenderung mengurangi nilai jumlah uang yang tetap di masa depan. Sebagai contoh, merehabilitasi perkerasan jalan dalam beberapa tahun akan dikenakan biaya lebih karena inflasi. Evaluasi yang tepat pertama memerlukan penentuan biaya masa depan berdasarkan tingkat inflasi. Dengan tingkat bunga, nilai sekarang ini dapat ditentukan. Salah satu rekomendasi adalah menunjukkan tingkat diskonto sama dengan tingkat bunga dikurangi tingkat inflasi. Yang lain berpendapat bahwa tingkat bunga pasar dikurangi inflasi dalam dolar yang konstan digunakan untuk memperkirakan tingkat diskonto.

Beberapa ahli telah mengusulkan tingkat diskonto sebesar 4 persen berdasarkan evaluasi data historis.

Pemilihan *discount rate* rendah cenderung penekanan lebih besar pada *cash flow* yang terjadi kemudian dalam umur proyek. *Discount rate* secara signifikan mempengaruhi hasil analisis. Semakin rendah discount rate berakibat makin nilai dolar di masa yang akan datang makin besar. Pemilihan *discount rate* yang rendah memberikan penekanan yang lebih besar untuk pengeluaran modal di masa mendatang. Kesimpulan yang salah dapat mengakibatkan penggunaan *discount rate* yang tidak tepat.

Persamaan untuk menentukan tingkat bunga atau tingkat diskonto yang benar-benar riil dengan memperhitungkan pertimbangan tingkat bunga, tingkat inflasi, dan laju peningkatan pendanaan jalan raya.

$$i^* = \{[(1 + i)(1 + q)] / (1 + f)\} - 1 \quad \text{.....} \quad (16)$$

Keterangan:

i * = suku bunga (*discount rate*) yang benar memperhitungkan efek inflasi.

i = suku bunga (pasar).

q = suku bunga gabungan tahunan dari peningkatan pendanaan jalan raya.

f = suku bunga gabungan tahunan dari kenaikan biaya pembangunan atau pemeliharaan jalan raya (tingkat inflasi)

2.2.2.4 Periode Analisis

Komponen terakhir dalam analisis LCC adalah memilih jangka waktu yang tepat untuk membandingkan alternatif desain. Periode analisis adalah total lama waktu yang diharapkan dapat melayani fungsi yang dimaksud sebelum komponen tersebut memerlukan penggantian atau peningkatan. Periode ini mungkin berisi beberapa pemeliharaan dan kegiatan rehabilitasi.

Menentukan periode analisis untuk jalan raya mungkin subjektif dan tidak sama dengan u umur fisik yang sebenarnya. Periode analisis direkomendasikan untuk perkerasan baru adalah (25 – 40) tahun dan (5 – 15) tahun untuk alternatif rehabilitasi.

Faktor-faktor seperti geometrik, kapasitas lalu lintas, dan lain-lain dapat ditentukan periode yang lebih singkat.

Rekayasa ekonomi dapat menyimpulkan analisis *Discounted Cash Flow* berikut, termasuk formula dan analisis sensitivitas.

2.2.2.5 Analisis Arus Kas Didiskonto (*Discounted Cash Flow Analysis*)

Terdapat tiga pilihan analisis yaitu, nilai sekarang (*present worth*), tahunan, dan tingkat pengembalian (*rate of return*). Dua yang pertama adalah metode ekonomi utama. Metode tingkat pengembalian membutuhkan

lebih banyak usaha dan perhitungan dan tidak memiliki dukungan umum. Metode utama dibahas di bawah ini.

3) Metode Nilai Sekarang (*Present Worth Method*)

Metode nilai sekarang (*present worth*) adalah metode ekonomi yang mengonversi semua biaya sekarang dan masa depan terhadap biaya dasar saat ini. Nilai sekarang dari sejumlah pengeluaran masa depan yang direncanakan adalah setara dengan jumlah uang yang dibutuhkan untuk berinvestasi sekarang di tingkat bunga gabungan (*compund interest rate*) yang diberikan untuk investasi awal ditambah bunga yang menyamai biaya yang diharapkan saat diperlukan.

Hal ini memungkinkan perbandingan alternatif memiliki pengeluaran di berbagai hal dalam kehidupan mereka atas dasar kesetaraan. Suatu hal yang kurang menguntungkan dalam menggunakan metode nilai sekarang (*present worth*) adalah bahwa metode ini hanya dapat digunakan untuk membandingkan alternatif dengan periode analisis yang sama. Metode nilai sekarang (*present worth*) tidak dapat digunakan untuk membandingkan alternatif dengan lama waktu 20 dan 50 tahun.

Rumus berikut mewakili berbagai faktor yang digunakan dalam analisis siklus hidup.

Dalam banyak kasus, perhitungan manual sebenarnya tidak diperlukan karena faktor-faktor ini telah dihitung dan ditabulasi untuk berbagai suku bunga. Tabel faktor ini diberikan dalam Lampiran A. Contoh berikut menggambarkan penggunaan tabel tersebut.

Life Cycle Analysis

Factor Name	*Converts*	*Symbol*	*Formula*
Single Payment Compound Interest	P to F	(F/P, i%,n)	$(1 + i)^n$

Factor Name	*Converts*	*Symbol*	*Formula*
Present Worth	F to P	(P/F, i%,n)	$1/(1 + i)^n$
Uniform Series Sinking Fund	F to A	(A/F, i%,n)	$i/[1 + i)^n – 1]$
Capital Recovery	P to A	(A/P,i%,n)	$[i(1 + i)^n]/[(1 + i)^n – 1]$
Compound Amount	A to F	(F/A, i%,n)	$[(1 + i)^n – 1]/i$
Equal Series Present Worth	A to P	(P/A,i%,n)	$[(1 + i)^n – 1]/[i(1 + i)^n]$

Bentuk umum persamaan suatu nilai sekarang (*present worth*) untuk suatu nilai sekarang (*present worth*) tunggal dari suatu jumlah masa depan.

$$P = F [1 / (1 + i)^n] \quad \text{.....} \quad (17)$$

Keterangan:

P = nilai sekarang (*Present Worth*)

F = Jumlah uang masa depan, pada akhir tahun n

n = Jumlah tahun.

i = Tingkat diskonto (*discount rate*)

Faktor $1 / (1 + i)^n$ juga dikenal sebagai *Single Payment Present Worth* (SPW), atau

$$(P / F, i\%, n) \quad \text{.....} \quad (18)$$

Sebuah perhitungan sederhana untuk P meliputi perkalian F dengan SPW atau faktor yang ditemukan di Lampiran A.

Gunakan persamaan berikut untuk suatu nilai sekarang (*present worth*) dari serangkaian akhir tahun pembayaran.

$$P = A \{[(1 + i)^n - 1] / [i (1 + i)^n]\} \quad \text{.....} (19)$$

Keterangan:

A = Akhir-tahun pembayaran, dalam suaru seri yang seragam untuk n tahun, yang setara dengan P pada tingkat diskonto i.

Faktor $[(1 + i)^n - 1] / [i (1 + i)^n]$ juga dikenal sebagai Uniform Payment Present Worth (UPW), atau (P / A, i%, n)

Perhitungan yang sederhana untuk P meliputi perkalian A dengan UPW atau faktor ditemukan di Lampiran A.

4) Metode *Annualized cost*

Metode tahunan adalah salah satu alat yang paling berharga dari analisis ekonomi.

Metode ini mengubah pengeluaran sekarang dan masa depan dengan biaya tahunan yang seragam yang menghasilkan dasar umum biaya tahunan yang seragam. Kualitas yang sama dengan akurasi. Bagi biaya yang diharapkan, positif atau negatif, selama waktu dalam sistem ke dalam biaya tahunan yang yang seragam menggunakan tingkat diskonto yang sesuai. Metode ini mengubah biaya awal, yang berulang, dan tidak berulang dalam pembayaran tahunan.

Perkiraan pengeluaran yang seragam pemeliharaan tahunan adalah biaya yang berulang yang sudah dalam segi biaya tahunan. Pengeluaran masa depan harus diubah menjadi nilai sekarang menggunakan persamaan di atas sebelum menggunakan persamaan berikut untuk menentukan biaya tahunan.

$$A = P \{[i (1 + i) n] / [(1 + i) n - 1]\} \quad \text{.....} \quad (20)$$

Keterangan:

P = Nilai sekarang (*Single Payment Present Worth*)

A = *Annualized cost* atau biaya tahunan yang

n = Jumlah tahun

i = Tingkat diskonto (*discount rate*).

Faktor $[i (1 + i) n] / [(1 + i) n - 1]$ adalah juga dikenal sebagai Faktor *Capital Recovery* Seragam (UCR). atau (A / P, i%, n)

Perhitungan sederhana untuk A meliputi perkalian P dengan UCR ditemukan di dalam tabel ekonomi standar. Keuntungan metode ini adalah bahwa hal itu dapat digunakan untuk menghitung biaya tahunan alternatif dengan waktu yang berbeda.

Beragam faktor arus kas telah dihitung dan ditabulasi. Faktor-faktor ini tersedia dalam naskah rekayasa ekonomi. Untuk memudahkan pencarian informasi tabel dimasukkan dalam Lampiran A petunjuk ini.

Contoh

Lihat Lampiran B untuk contoh *Discounted Cash Flow*.

2.2.2.6 Analisis Sensitivitas

Biaya dan manfaat variabel yang berhubungan dengan proyek-proyek tertentu memiliki berbagai efek seperti tingkat diskonto, periode analisis, dan biaya berbagai faktor termasuk pemeliharaan dan biaya pengguna. Sensitivitas adalah efek relatif yang setiap variabel mungkin memiliki atas pilihan alternatif. Analisis sensitivitas menguji efek variasi dalam variabel-variabelnya. Pengujian mengidentifikasi variabel yang paling berpengaruh dan jangkauan pengaruhnya. Analisis dapat mengidentifikasi pilihan desain memerlukan pertimbangan lebih lanjut secara lebih rinci dan variabel membutuhkan informasi tambahan.

Risiko proyek juga dapat diidentifikasi. Analisis sensitivitas terjadi sebagai bagian dari analisis ekonomi dalam tahap formatif suatu proyek.

Input data yang tidak memadai, asumsi awal, akurasi perkiraan, atau dampak kombinasi hasil akhir. Jawablah pertanyaan-pertanyaan penting berikut:

1) Seberapa sensitif merupakan hasil analisis untuk variasi pada parameter ini tidak pasti?

2) Apakah variasi ini membenarkan pemilihan alternatif tidak sedang dipertimbangkan.
3) Berapa banyak variasi dalam parameter yang diberikan diperlukan untuk menggeser keputusan untuk memilih B alternasi daripada alternatif A?

Analisis sensitivitas memiliki dua tujuan, yaitu, untuk menentukan seberapa sensitif output dari analisis biaya siklus hidup adalah untuk variasi pada input tertentu serta untuk mengevaluasi risiko dan ketidakpastian yang berhubungan dengan alternatif yang dipilih. Perancang kemudian dapat menentukan probabilitas untuk membuat pilihan yang salah atau memilih alternatif yang salah. Analisis ini memberikan manfaat terbesar ketika perbedaan antara alternatif tidak mungkin sangat besar. Selesaikan analisis saat melakukan analisis biaya siklus hidup yang lebih rinci.

Meskipun proses ini tidak sulit atau memakan waktu, proses analisis LCC keseluruhan mengandung banyak ketidakpastian. Sarana untuk mengetahui pengaruh ketidakpastian ini pada berbagai faktor dapat ditemukan di dalam analisis sensitivitas. Hasil analisis yang berkaitan dengan instansi lain menunjukkan bahwa:

1) Hasil solusi dengan metode biaya tahunan secara nyata menggabungkan investasi modal yang besar dengan perawatan atau biaya pengguna yang rendah. Tingkat bunga yang tinggi menguntungkan kombinasi sebaliknya.
2) Asumsi bahwa sistem yang akan digunakan untuk waktu yang tidak terbatas menjadi kurang signifikan sebagai kenaikan suku bunga dan jangka waktu tumbuh lebih lama. Prakiraan ke masa depan kurang signifikan apabila tingkat bunga lebih tinggi dan periode waktu yang lebih lama daripada perkiraan jarak pendek menggunakan tingkat bunga yang lebih rendah.
3) Jalan akan dilapis sekali lagi dengan angka sepuluh persen diskon rate sebelum pembangunan jika biaya pelapisan kembali atau biaya rekonstruksi sedikit meningkat. Perkerasan akan dilapis kembali satu

kali lebih sedikit sebelum pembangunan jika biaya ini sedikit menurun dan digunakan lima persen tingkat diskonto yang digunakan.

2.2.3 Faktor Biaya

2.2.3.1 Biaya Awal

Pelapisan kembali perkerasan lebih umum sebagai alternatif rekonstruksi Beton semen baru dan rehabilitasi yang dibongkar dan diganti dengan perkerasan beton semen Portland (PCCP), atau dibongkar dan menggantinya dengan perkerasan beton aspal baru (ACP), atau *overlay* dengan ACP atau PCCP. Biaya desain dan pembangunan adalah dua jenis biaya termasuk dalam kategori biaya awal. Biaya desain untuk semua alternatif tidak termasuk analisis. Sumber informasi untuk desain atau biaya akan direncanakan pada saat penawaran. Biaya pembangunan mungkin merupakan komponen biaya yang paling penting dan digunakan lebih dari komponen lain.

Sumber informasi yang ditawarkan sebelumnya meliputi biaya konstruksi proyek sebelumnya, data biaya historis, dan lain-lain. Gunakan data yang tersedia yang paling terbaru dan akurat. Perhatikan *item* tersebut ketika tawaran atau kontrak sebelumnya tidak tersedia untuk material atau teknik baru yang digunakan sebagai bagian dari alternatif. Selesaikan suatu analisis sensitivitas untuk mengetahui pengaruh variasi biaya pada hasil akhir bila berbagai kemungkinan biaya item baru ada. Cerminkan semua biaya unik terkait dengan setiap alternatif untuk biaya konstruksi. Perhitungkan beberapa bagian jalan yang berbeda dan jumlah bahan untuk masing-masing alternatif. Jangan menyertakan item umum seperti jembatan dan pelebaran tanggul, penggantian guard rail, dan lain-lain karena mungkin terjadi pengulangan. Setiap opsi *overlay* memerlukan beberapa tingkat penyesuaian akses jalan yang berdekatan, guard rail, penghalang, dan lain-lain, termasuk biaya tambahan lain untuk setiap alternatif dalam analisis.

2.2.3.2 Biaya Pemeliharaan

Biaya ini adalah yang terkait dengan memelihara permukaan perkerasan pada tingkat yang dapat diterima dan merupakan salah satu hal yang paling sulit ditangani dalam analisis LCC. Ada masalah yang inheren dalam memperoleh biaya pemeliharaan yang akurat dan dapat dipercaya. Jenis dan luasnya pekerjaan pemeliharaan dilakukan di berbagai interval waktu di masa depan secara langsung mempengaruhi biaya pemeliharaan perkerasan.

Memprediksi Jenis pemeliharaan yang dibutuhkan dan kerangka waktu yang sangat jauh di muka adalah masalah utama. Kebutuhan pemeliharaan dipengaruhi oleh kinerja perkerasan. Daerah ini membutuhkan pekerjaan lebih lanjut untuk memperbaiki kapabilitas prediksi.

Untuk membantu mengurangi beberapa masalah prediksi dan untuk kemungkinan memberikan presisi yang diperlukan dalam analisis LCC berikut disediakan. *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) sintesis 46 menyediakan beberapa arahan tentang bagaimana untuk meningkatkan keandalan data biaya pemeliharaan. Sintesis NCHRP 110 dan 77 memberikan bantuan kepada lembaga-lembaga dalam meningkatkan kapabilitas mereka untuk memprediksi kebutuhan masa depan dan biaya pemeliharaan. Studi telah dicapai membandingkan karakteristik kinerja dan biaya pemeliharaan. Perbedaan dalam persyaratan pemeliharaan berbagai alternatif yang dipertimbangkan adalah *item* yang paling penting. Tidak perlu memasukkan pemeliharaan dalam analisis jika biaya pemeliharaan identik untuk semua alternatif.

Biaya pemeliharaan juga dapat terpengaruh jika aktivitas pemeliharaan tertunda. Biaya pemeliharaan berkurang secara signifikan meningkat ketika kondisi trotoar meningkat. Sintesis NCHRP 58 memberikan rincian yang luas pada aktivitas tertunda.

Batas beban truk juga dapat mempengaruhi biaya pemeliharaan. Kinerja perkerasan secara signifikan berubah atas kegagalan untuk menerapkan batas berat. Pertimbangkan pengaruh relasional yang sama untuk semua proyek dan biaya pemeliharaan.

2.2.3.3 Biaya Rehabilitasi

Biaya rehabilitasi adalah kegiatan yang terkait dengan rehabilitasi perkerasan atau restorasi. Biaya umum termasuk lapisan Burtu, pelaburan, pelaburan aspal karet, lapisan friksi gradasi terbuka, dan beton aspal. Hitunglah biaya yang konsisten dan dengan cara yang sama sebagai biaya konstruksi awal. Sehubungan dengan rehabilitasi perkerasan, proyek biasanya ditenderkan dan dibangun dengan kriteria yang sama sebagai konstruksi perkerasan baru. Jika mempertimbangkan biaya rehabilitasi relatif terhadap analisis LCC, dua frame waktu mulai berlaku. Kerangka waktu pertama berlaku untuk banyak proyek dimulai pada "waktu nol."

Ini merupakan awal dari analisis LCC dan berlaku di mana perkerasan ada selama bertahun-tahun, membutuhkan perbaikan jangka panjang. Perlakukan rehabilitasi yang mirip dengan konstruksi awal dalam kasus ini. Kerangka waktu kedua berlaku untuk kebutuhan masa depan untuk perkerasan baru atau perkerasan yang baru direhabilitasi.

Prediksi yang akurat ke masa mendatang apabila rehabilitasi mungkin diperlukan adalah masalah utama. Buatlah perkiraan terbaik dari periode waktu masa mendatang menggunakan data kinerja historis yang akurat bila diperlukan. Analisis sensitivitas yang waktunya berbeda-beda untuk rehabilitasi membantu menentukan sejauh untuk apa waktu akan mengubah pemilihan desain akhir.

Kerangka lama yang terkait hampir bisa menjamin terjadinya penerapan bahan baru dan teknik yang berlaku untuk rehabilitasi perkerasan.

Pelajarilah bahan baru sesegera mungkin menggunakan evaluasi laboratorium dan eksperimen proyek sebelum bahan-bahan digunakan. Pertimbangkan hanya proyek-proyek yang menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi untuk digunakan secara luas.

2.2.3.4 Biaya Pengguna

Biaya pengguna yang terkait dengan biaya operasional kendaraan seperti konsumsi bahan bakar, suku cadang, ban, dll dan biaya keterlambatan pengguna seperti penolakan-digunakan, penundaan karena kecepatan berubah, pengurangan kecepatan, dan waktu tunda. Sertakan biaya-biaya dalam analisis LCC yang dapat mempengaruhi pilihan alternatif perkerasan.

Mengingat jenis permukaan yang berbeda pada tingkat kinerja yang umumnya sama, biasanya data tidak cukup tepat untuk mendeteksi perbedaan biaya operasi kendaraan antara dua perkerasan. Jika mempertimbangkan memperkeras jalan beraspal vs tidak diperkeras dan halus vs perkerasan kasar, akan ada perbedaan biaya pengguna yang signifikan. Biaya operasional termasuk peningkatan konsumsi bahan bakar dengan meningkatnya kekasaran trotoar. Peningkatan biaya yang disebabkan oleh memburuknya perkerasan menghasilkan biaya yang lebih tinggi untuk biaya jasa transportasi barang dan bus. Biaya yang lebih tinggi secara langsung mempengaruhi tingkat kinerja minimal perkerasan yang diizinkan dan kebijakan pemeliharaan.

Biaya tunda pengguna yang tinggi akibat dari turunnya kecepatan disebabkan oleh kegiatan pelaksanaan dan pemeliharaan dan penolakan, maka biaya muncul selama penutupan bagian jalan raya dan perbaikan besar. Biaya operasi kendaraan meningkat terjadi ketika rute alternatif dan penghentian lalu lintas dan kecepatan melambat disebabkan oleh terdapat pembangunan, rehabilitasi dan pemeliharaan.

The American Associations of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) "A Manual on User Benefit Analysis of Highway and Bus Transit Improvements" atau Buku Merah memberikan referensi untuk biaya pengguna di samping yang disebutkan sebelumnya. Menilai pengaruh relatif biaya pengguna alternatif yang berbeda menggunakan analisis sensitivitas jika data yang berlaku cukup dapat diidentifikasi untuk proyek sedang diteliti.

Salah satu metode untuk menentukan biaya pengguna mengikuti studi tahun 1986 oleh California Departemen Perhubungan. Penelitian ini menemukan nilai rata-rata waktu menjadi $ 6,25 per kendaraan-jam keterlambatan. Berdasarkan tingkat inflasi empat persen, 8,22 $ digunakan pada tahun 1993 perhitungan. Modifikasi ini selama tahun 1993 dan tahun-tahun mendatang didasarkan pada laju inflasi yang dipilih oleh Seksi *Value Engineering*.

Gunakan persamaan berikut untuk menentukan biaya pengguna.

$$UC = (AVT)\ [(L / RS) - (L / IS)]\ (ADT)\ (PT)\ (CP). \quad \text{.....} \quad (21)$$

Keterangan:

UC = Pengguna Biaya

AVT = Nilai Rata-rata Waktu ($ 8,22 atau ditentukan)

L = Panjang Proyek

RS = Mengurangi melalui zona konstruksi

IS = kecepatan awal sebelum zona konstruksi

ADT = lalu lintas harian rata-rata dalam tahun berjalan (bagian hanya ADT terkena proyek

PT = Persen lalu lintas dipengaruhi oleh proyek konstruksi. Lakukan studi lalu lintas untuk menentukan persen lalu lintas yang menggunakan fasilitas selama periode tersebut.

CP = Periode Konstruksi Pertimbangkan pencantuman Biaya Pengguna sangat hati-hati diberikan menggunakan minimal.

2.2.3.5 Nilai Sisa (*Salvage Value*)

Nilai sisa adalah biaya tersisa pada akhir sebuah analisis siklus hidup. Ini mungkin lebih tepat disebut nilai sisa karena nilai ini bisa positif atau negatif. Beberapa sisa umur atau nilai mungkin tersisa untuk alternatif setelah menyelesaikan periode analisis karena sifat dasar perkerasan. Dasar penentuan nilai pada persen hidup perkerasan yang tersisa, pengalaman, dan data historis.

Suatu nilai negatif jika ada biaya lebih untuk menghapus dan membuang bahan dari itu sangat benilai sementara nilai positif dinilai untuk bahan yang masih dapat diselamatkan berguna atau umur yang tersisa. Termasuk sisa atau nilai sisa, positif atau negatif, dalam analisis LCC jika seseorang dapat ditugaskan untuk alternatif perkerasan diberikan pada akhir periode analisis. Bawa nilai kembali ke nilai sekarang (PW) menggunakan persamaan PW yang didiskusikan sebelumnya. Gunakan tingkat diskonto yang tepat dan periode analisis. Gunakan biaya PW untuk alternatif yang sesuai jika perbandingan alternatif adalah berdasarkan nilai sekarang. Gunakan biaya tahunan rata-rata atau keuntungan jika perbandingan adalah tahunan. Persamaan untuk mengonversi nilai sekarang dengan biaya tahunan mengikuti pembahasan persamaan PW.

Salah satu metode perhitungan nilai sisa mengikuti persamaan berikut.

$$SV = (CC)\ [(ERL) / (TEL)] \quad \text{.....(22)}$$

Keterangan:

SV = *Salvage Value*

CC = *Last construction or rehabilitation cost*

ERL = *Expected remaining life*

TEL = *Total expected life*

2.2.3.6 Biaya Energi

Biaya yang berkaitan dengan energi biasanya merupakan bagian dari konstruksi, pemeliharaan, dan biaya rehabilitasi. Biaya tersebut tidak termasuk dalam analisis LCC secara terpisah. Analisis sebagai faktor yang terpisah akan sangat sulit. Pertimbangkan faktor-faktor energi sebagai salah satu faktor lain setelah analisis LCC selesai.

Biaya energi merupakan bagian dari biaya dan faktor yang tidak independen atau utama.

2.2.4 Analisis Biaya Siklus Hidup Pekerjaan Jalan

Berikut ini contoh menggambarkan proses analisis Biaya Siklus Hidup yang lengkap yang (*the Utah Department of Transportation).* Contoh ini menggambarkan teknik-teknik atau biaya siklus hidup yang digunakan dalam membandingkan alternatif untuk proyek-proyek jalan. Sebuah analisis sensitivitas ditampilkan untuk setiap contoh dengan gambaran grafis dari temuan yang dihasilkan.

1) Dua alternatif Perkerasan Beton Semen Portland dibandingkan dengan Perkerasan Aspal Beton. Berikut biaya konstruksi per mil yang diketahui untuk tiap alternatif:

***Portland Cement Concrete Pavement (*Alternative 1)**

Initial Construction Cost	$1,200,000
Joint Sealing (year 10 and 20)	$84,000
Routine Annual Maintenance	$1,800
Salvage	($140,000)

***Asphaltic Concrete Pavement* (Alternative 2)**

Initial Construction Cost	$900,000
Stage II Construction (year 10)	$350,000
Recycle Pavement (year 20) Routine	$290,000

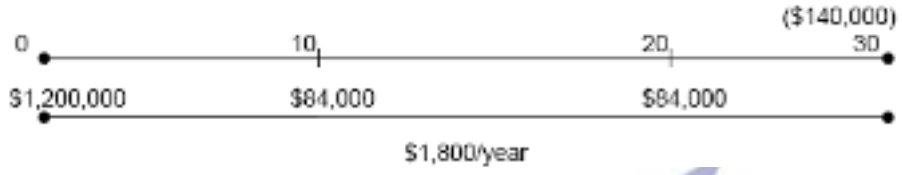
Annual Maintenance	$1,000
Salvage	($280,000)

Masa pakai diperkirakan dari setiap alternatif adalah 30 tahun. Gunakan tingkat diskonto 4% untuk menemukan alternatif terbaik.

Solusi:

Alternatif dapat dievaluasi baik menggunakan Metode Seharga Hadir atau Metode Seharga Tahunan. Kedua solusi ditampilkan. Langkah pertama adalah untuk membangun sebuah *timeline* menggunakan biaya di atas. Kemudian pasang nilai yang sesuai ke dalam rumus terkait.

Alternative 1



Present Worth Method

P = $1,200,000 + $84,000 (P/F, 4%, 10) + $84,000 (P/F, 4%, 20) + $1,800 (P/A, 4%, 30) - $140,000 (P/F, 4%, 30)

= 1,200,000 + 84,000 (0.6756) + 84,000 (0.4564) + 1,800 (17.2920) - 140,000 0.3083)

= $1,283,045 ANSWER

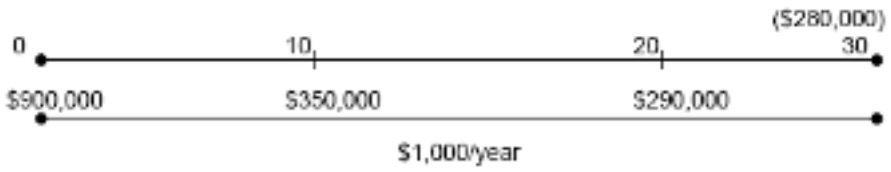
Annual Worth Method

A = $1,200,000 (A/P, 4%, 30) + $84,000 (P/F, 4%, 10) (A/P, 4%,30) + $84,000 (P/F, 4%, 20) (A/P, 4%, 30) + $1,800 - $140, 000 (A/F, 4%, 30)

= 1,200,000 (0.0578) + 84,000 (0.6756) (0.0578) + 84,000 (0.4564) (0.0578) + 1,800 - 140,000 (0.0178)

= $74,199 ANSWER

Alternative 2



Present Worth Method

P = $900,000 + $350,000 (P/F, 4%, 10) + $290,000 (P/F, 4%, 20) + $1,000 (P/A, 4%, 30) - $280,000 (P/F, 4%, 30).

= 900,000 + 350,000 (0.6756) + 290,000 (0.4564) + 1,000 (17.2920) - 280,000 (0.3083)

= $1,199,762 ANSWER

Annual Worth Method

A = $900,000 (A/P, 4%, 30) + $350,000 (P/F, 4%, 10) (A/P, 4%,30)+ $290,000 (P/F, 4%, 20) (A/P, 4%, 30) + $1,000 - $280, 000 (A/F, 4%, 30).

= 900,000 (0.0578) + 350,000 (0.6756) (0.0578) + 290,000 (0.4564) (0.0578) + 1,000 - 280,000 (0.0178).

= $69,382 ANSWER

Comparison of Alternatives

	Alternative 1	Alternative 2
Present Worth	$1,283,045	$1,199,762
Annual Worth	$74,199	$69,382

Hasil:

Alternatif 2 adalah alternatif lebih murah dalam perbandingan di atas. Contoh ini juga menggambarkan bahwa penggunaan metode nilai tahunan (AW) atau metode nilai sekarang (PW) mengarah pada kesimpulan yang sama.

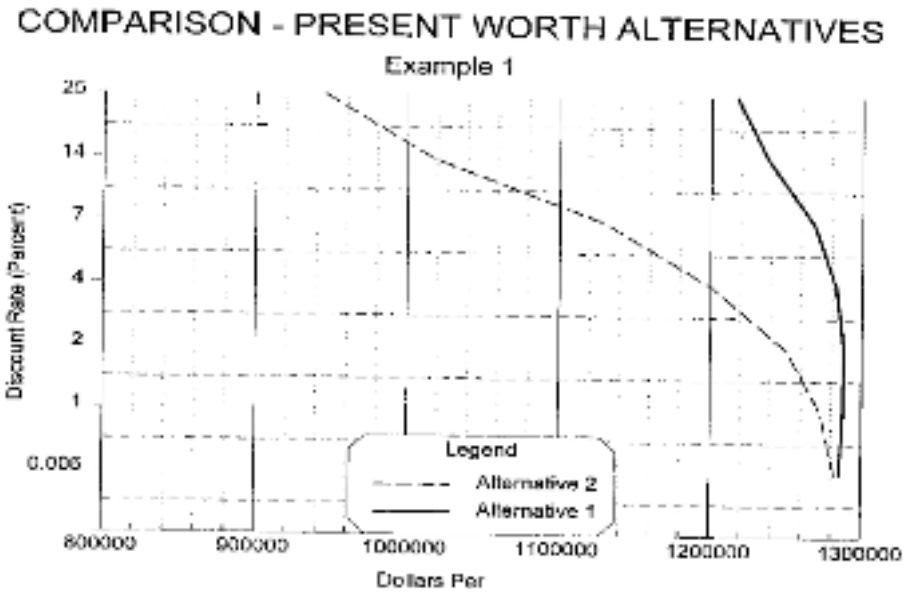
2) **Analisis Sensitivitas**

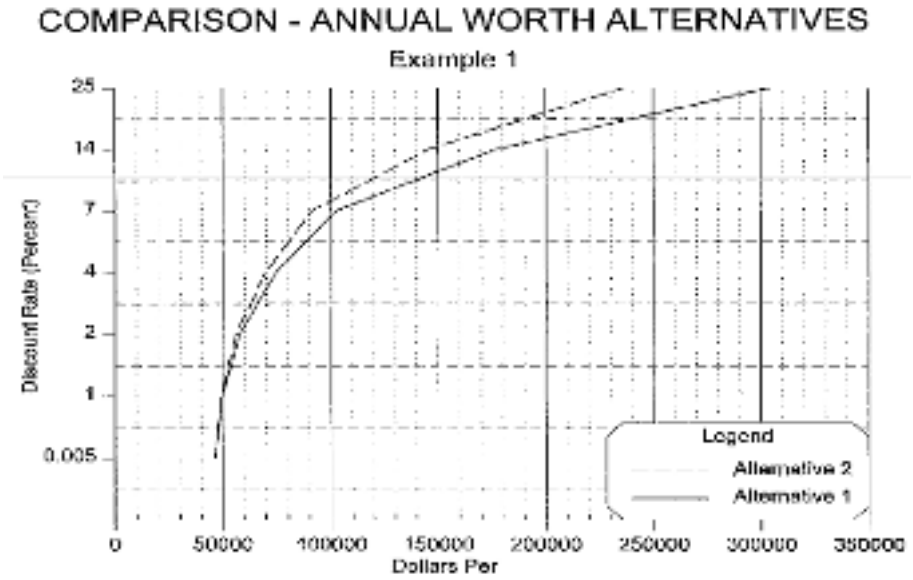
Biaya Variabel Manfaat

- *Discount rate*
- Periode analisis
- Biaya pemeliharaan
- Biaya pengguna

Present Worth Method Example 1		
Discount Rate	**Alternative 1**	**Alternative 2**
0.5%	$1,285,424	$1,282,146
1%	$1,287,471	$1,272,588
2%	$1,288,463	$1,250,100
4%	$1,283,045	$1,199,762
7%	$1,268,353	$1,128,490
14%	$1,238,627	$1,017,018
25%	$1,217,006	$944,573

Annual Worth Method Example 1		
Discount Rate	**Alternative 1**	**Alternative 2**
0.5%	$46,248	$46,130
1%	$49,887	$49,310
2%	$57,530	$55,817
4%	$74,199	$69,382
7%	$102,212	$90,941
14%	$176,880	$145,233
25%	$304,629	$236,436


COMPARISON - PRESENT WORTH ALTERNATIVES
Example 1
Discount Rate (Percent)
25
14
7
4
2
1
0.005
800000
900000
1000000
1100000
1200000
1300000
Dollars Per
Legend
Alternative 2
Alternative 1


COMPARISON - ANNUAL WORTH ALTERNATIVES
Example 1
Discount Rate (Percent)
25
14
7
4
2
1
0.005
0
50000
100000
150000
200000
250000
300000
350000
Dollars Per
Legend
Alternative 2
Alternative 1

2.3 Kelayakan Perkerasan Beton Semen Pracetak

Hasil pengkajian menunjukkan bahwa pembangunan perkerasan beton semen pracetak adalah layak dan memberikan banyak keuntungan.

2.3.1 Kelayakan

Berdasarkan evaluasi berbagai jenis perkerasan, ternyata perkerasan beton semen yang terdiri atas panel-panel beton pratekan dinyatakan sebagai jenis perkerasan yang paling praktis untuk digunakan pada pembangunan perkerasan pracetak. Prapenegangan (*pretensioning*) sangat mengurangi tebal perkerasan dan meningkatkan keawetan perkerasan, yang sangat penting untuk kepentingan penanganan serta aplikasi perkerasan dimana ruang bebas dibatasi, misal antar permukaan perkerasan dengan jembatan (*flyover*).

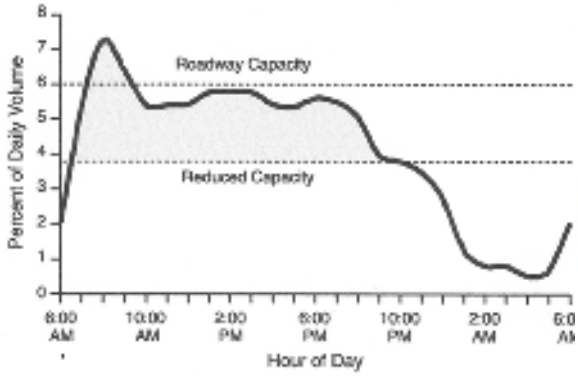
Analisis kelayakan tentang disain mengungkapkan bahwa perkerasan pracetak dapat dirancang untuk memiliki umur rencana yang setara dengan umur rencana perkerasan konvensional, dengan penghematan yang signifikan dalam tebal perkerasan. Analisis kelayakan pelaksanaan menunjukkan beberapa metode yang layak untuk mempercepat pelaksanan, misal penggunaan lapis perata aspal serta solusi untuk pekerjaan-pekerjaan spesifik, misal tentang geometri lapangan.

Akhirnya, analisis kelayakan ekonomi dan keawetan menunjukkan berbagai keuntungan yang diperoleh dari perkerasan pracetak, misal, pengurangan biaya pengguna jalan, serta keuntungan dalam hal keawetan, yang telah dibuktikan melalui pengalaman sebelumnya melalui perkerasan pratekan. Penyelidikan lebih lanjut, penggunaan di masa depan, dan pemantauan kinerja pada akhirnya akan menunjukkan kelayakan konsep yang diusulkan.

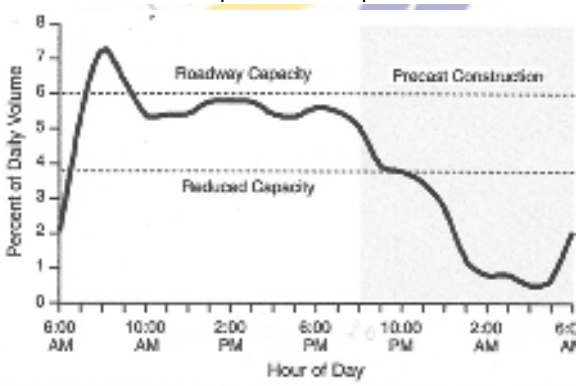
2.3.2 Periode Pelaksanaan Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang

Salah satu tujuan pengembangan perkerasan beton pracetak adalah untuk mengurangi kerugian pengguna jalan yang ditimbulkan oleh kemacetan selama pelaksanaan.

Pelaksanaan perkerasan beton pracetak di Texas menunjukkan bahwa berdasarkan jumlah lalu-lintas per jam, periode pelaksanaan yang paling optimum adalah antara pukul 20.00 dan pukul 06.00, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8b.



a. Periode kemacetan selama pelaksanaan perkerasan beton konvensional



b. Periode kemacetan selama pelaksanaan perkerasan beton pracetak

Gambar 10. Periode kemacetan selama pelaksanaan

2.3.3 Manfaat Pelaksanaan Perkerasan Pracetak

Manfaat yang paling menonjol yang diperoleh dari pelaksanan perkerasan beton semen pracetak, sebagai daya tarik untuk menjadikan alasan proyek pengkajian pada awalnya dilakukan, adalah kecepatan pelaksanaan. Melalui penggunaan panel-panel pracetak, maka waktu tambahan untuk pengerasan beton sebelum dapat dilewati lalu lintas tidak diperlukan lagi. Pembukaan untuk lalu lintas yang cepat tersebut memungkinkan pemasangan beton pracetak dilakukan pada periode-periode yang terpisah (misal hanya pada malam hari atau akhir pekan saja). Pelaksanaan dapat dilakukan ketika volume lalu lintas rendah dan perkerasan dapat dibuka kembali ketika volume lalu lintas meningkat.

Keuntungan ekonomi pelaksanaan beton pracetak akan diperoleh melalui penghematan biaya pengguna jalan. Seperti yang telah ditunjukkan, dengan membatasi pelaksanaan hanya pada malam hari, biaya pengguna jalan akibat kemacetan dapat berkurang secara signifikan (dari kira-kira $ 680.610/hari sampai $ 124.500/hari). Meskipun tidak mungkin untuk memasang perkerasan beton pracetak yang volumenya sama dengan volume perkerasan konvensional dalam setiap operasi harian, namun penghematan biaya pengguna jalan jauh lebih besar daripada nilai waktu tambahan yang diperlukan untuk pelaksanaan.

Konsep yang diusulkan memiliki banyak aspek yang menguntungkan pelaksanaan pada malam hari yang terpisah-pisah. Pertama, pemasangan lapis perata beton aspal dapat dilakukan jauh-jauh sebelum pemasangan panel pracetak dan sebelum pemasangan beton pracetak, lalau-lintas dapat diijinkan melewati lapis perata. Kedua, tendon-tendon pasca-penarikan (*post-tensioning*) tidak perlu disuntik (*grouted*) sebelum lalu lintas diijinkan kembali melewati perkerasan. Penyuntikan dapat dilakukan pada lain waktu, selama operasi berikutnya. Demikian juga, kantung-kantung penarikan (*stressing pockets*) tidak perlu diisi sebelum lalu lintas diizinkan melewati perkerasan. Akhirnya, penggunaan pelandaian (*ramps*) prefabrikasi

akan menjadi metode efisien untuk pengalihan lalu lintas dari perkerasan yang lama ke perkeraan yang baru.

Keuntungan utama lainnya melalui pelaksanaan sistem pracetak adalah panel-panel yang main panjang (memperkecil jumlah sambungan), penghematan bahan (volume beton dan tulangan makin sedikit), serta meningkatkan keawetan. Perkerasan beton pratekan dicor di tempat yang terdapat di McLennan County, Texas, yang menjadi dasar banyak aspek konsep perkerasan pracetak yang diusulkan, merupakan bukti keuntungan-keuntungan yang diperoleh. Perkerasan di County McLennan mempunyai sambungan pemuaian yang jaraknya hanya pada 240 ft dan 440 ft; sedangkan tebal perkerasan hanya 6 in (tebal perkerasan CRC yang dibangun di daerah yang sama adalah 14 in). Demikian juga, perkerasan yang telah berumur hampir 15 tahun menunjukkan hampir tidak ada tanda-tanda kerusakan.

Perkerasan beton pracetak dapat digunakan pada setiap situasi yang menuntut kecepatan pelaksanaan. Perkerasan tersebut dapat digunakan untuk perkerasan baru, perkuatan tanpa perekat (*unbonded overlay*), serta untuk pembongkaran dan penggantian perkerasan. Kemampuan pemasangan beberapa pelat yang berdampingan pada waktu yang berbeda dan mengikat mereka bersama-sama melalui prapenarikan (*pretensioning*) menjadikan perkerasan beton pracetak ideal pada penggunaan di mana hanya satu atau dua lajur yang dapat dipasang pada suatu waktu, seperti pada pekerjaan pembongkaran dan penggantian.

2.3.4 Rekomendasi

Konsep yang diusulkan akan memenuhi tuntutan kecepatan pelaksanaan perkerasan. Namun demikian, kelayakan pelaksanaan perkerasan beton pracetak akhirnya hanya akan dapat diwujudkan melalui pelaksanaan yang sebenarnya. Pengembangan lebih lanjut tentang ide-ide yang bersifat

konsep juga harus dituntaskan sebelum implementasi yang sebenarnya. Dalam hal tersebut, startegi yang disarankan adalah pembangunan bertahap (*stage construction*). Strategi tersebut memungkinkan untuk pelaksanaan tahap awal berskala kecil (untuk mencoba pekerjaan detail minor), selanjutnya diikuti dengan penerapan skala yang lebih besar, dan akhirnya pelaksanaan di perkotaan, yang akan menghadirkan tantangan terbesar dalam pelaksanaan perkerasan pracetak perkerasan.

Sambil implementasi berlangsung, konsep yang diusulkan akan terus disempurnakan. Karena tujuan penggunaan perkerasan beton pracetak adalah untuk mempercepat pembangunan/pelaksanaan, maka untuk meningkatkan efisiensi yang sejauh mungkin dapat diperoleh, perlu diperhatikan kelancaran proses produksi dan pemasangan. Akhirnya, yang paling penting adalah kebutuhan terhadap konsep sederhana, yaitu konsep yang menarik kontraktor dan lembaga transportasi. Suatu konsep yang mudah disesuaikan (*adaptable*) terhadap teknik yang sudah ada, namun tidak dibatasi oleh praktik-praktik dewasa ini, akan menjamin kelangsungan hidup perkerasan beton semen pracetak.

PUSJATAN

3

ANALISIS DATA DAN EVALUASI

3.1 Umum

Sesuai dengan rencana kegiatan yang disajikan pada Laporan Pendahuluan, hasil pengumpulan yang telah diperoleh sampai saat ini adalah:

a. Hasil survai Perkerasan Beton Semen Konvensional
   i. Harga satuan.
   ii. Pelaksanaan lapangan.
   iii. Kinerja
b. Hasil survai Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang
   i. Harga satuan.
   ii. Lokasi perkerasan yang disurvei.
   iii. Pelaksanaan lapangan
      - Susunan dan jenis panel.
      - Cara pemasangan panel.
      - Saat pelaksanaan.
   iv. Kinerja
      - Kondisi.
      - Ketidakrataan (*roughness*).

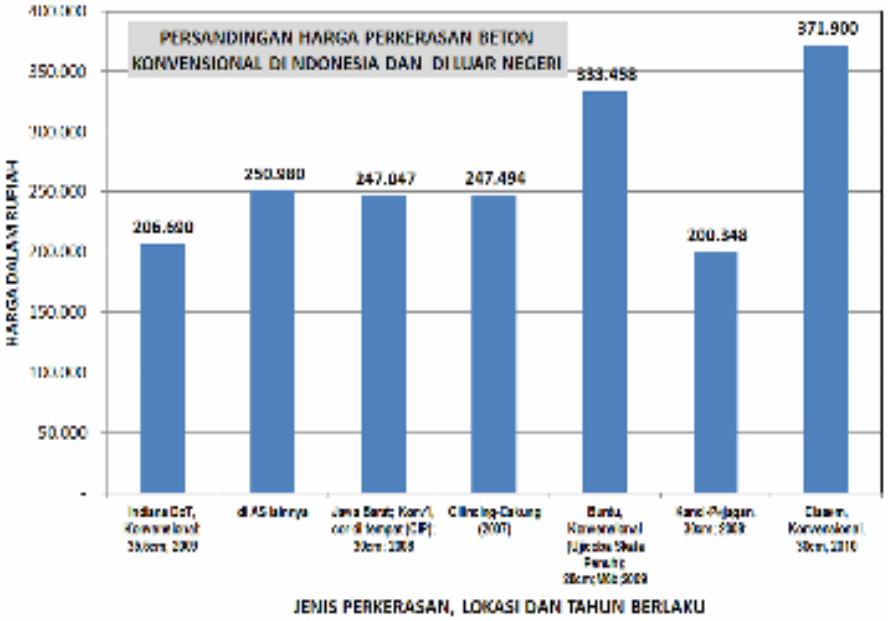
v. Lalu-lintas
   - Volume harian.
   - Jumlah kendaraan per jam dala satu hari.
   - Kecepatan kendaraan.

c. Pelaksanaan Perkerasan Beton Konvensional.

3.2 Hasil Survai Perkerasan Beton Semen Konvensional

3.2.1 Harga Satuan

Sesuai dengan hasil survei instansional, harga perkerasan beton konvensional yang dicor di tempat dengan tebal antara (25 – 28) cm adalah sekitar Rp (333.500 - Rp 371.880) per meter persegi. Harga pada tahun 2007 adalah 247.047 per m^2. Harga satu meter persegi perkerasan beton konvensional untuk ujicoba skala penuh yang dilaksanakan di Buntu-Kebumen, Jawa Tengah (Dachlan A.T., 2009) adalah Rp333.500,- per m^2. ditunjukkan persandinga harga perkerasan beton konvensional di Indonesia dan di Luar negeri (Indiana, Amerika Serikat). Dalam Gambar 11 ditunjukkan persandingan harga perkerasan beton konvensional, beton dengan bahan tambah serat dan bahan tambah karet, serta beton pracetak-prategang di Indonesia.



Gambar 11. Ilustrasi Persandingan Harga Perkerasan Beton Konvensional di Indonesia dan di Luar Negeri

3.2.2 Pelaksanaan Lapangan

Sebagai ilustrasi, pada Gambar 10 ditunjukkan urutan pelaksanaan beton konvensional.

a. Tanah dasar

b. *Lean concrete subbase*

c. *Tie bars* dan *dowel*

d. Penuangan beton

e. Penghamparan beton

f. Pemadatan

g. Pembentukan alur

h. Perawatan

i. Penggergajian sambungan

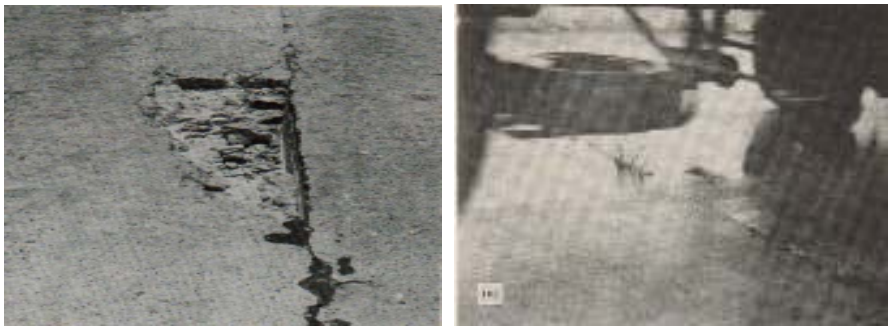
j. Penyumbatan sambungan (penyumbatan cair dan penyumbatan jadi)

Gambar 12. Ilustrasi urutan pelaksanaan perkerasan beton konvensional

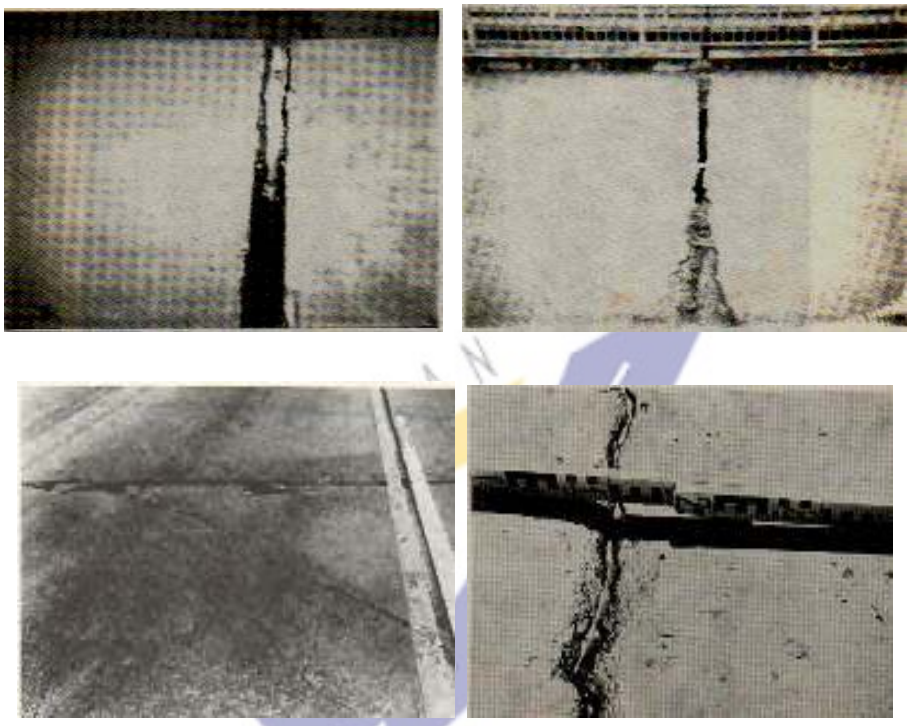
3.2.3 Kinerja

3.2.3.1 Kondisi

Kondisi Perkerasan Beton Semen Konvensional diilustrasi dengan beberapa contoh kerusakan yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Contoh beberapa kerusakan pelat pada Perkerasan Beton Semen Konvensional



Gambar 14. Contoh beberapa kerusakan sambungan pada Perkerasan Beton Semen Konvensional

3.2.3.2 Ketidakrataan (*roughness*)

Survei ketidakrataan Perkerasan Beton Semen Konvensional di Jatibarang menghasilkan data yang ditunjukkan pada Gambar 15.

Gambar 15. Ketidakrataan Perkerasan Beton Semen Konvensional di Jatibarang

Pada Gambar 15 ditunjukkan ketidakrataan Perkerasan Beton Konvensional Jtibbarang bernilai antara 4 dan 8 m/km.

3.3 Hasil Survei Perkerasan Beton Pracetak Prategang

3.3.1 Harga Satuan

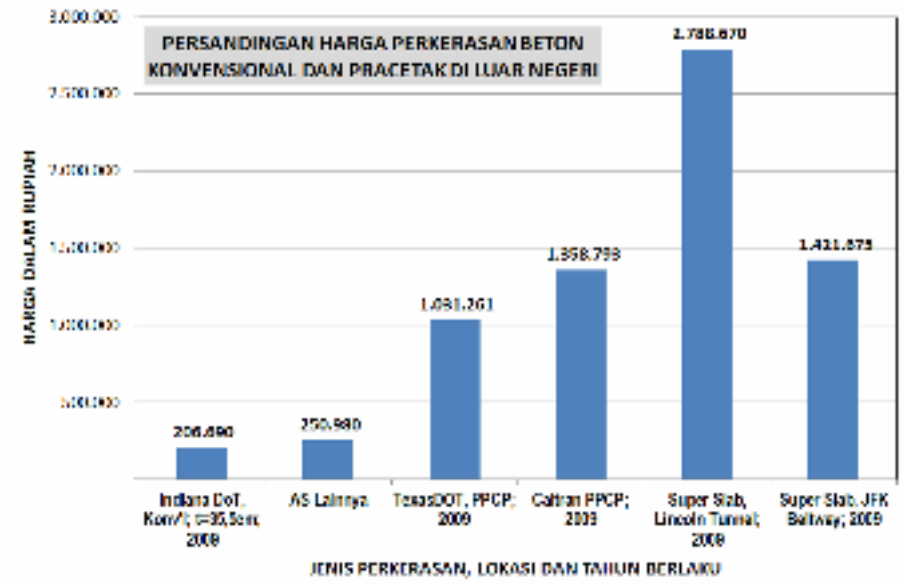
Hasil survei instansional menunjukkan bahwa biaya pekerjaan perkerasan beton pracetak prategang (untuk panel berukuran 8,2 m x 2,5 m x 0,2 m)

adalah Rp13.110.070,59. Dengan demikian, maka perkerasan beton pracetak per meter persegi dengan tebal 20 cm adalah sekitar Rp639.954.

3.3.2 Perbandingan Harga Perkerasan Beton (konvensional, pracetak, beton dengan bahan tambah) di Ujicoba Skala Penuh Buntu-Kebumen

Dalam Gambar 16 ditunjukkan harga perkerasan beton pracetak prategang rata-rata Rp477.000, per meter persegi, sedangkan harga perkerasan beton konvensional cor di tempat Rp333.500,- per meter persegi.

Gambar 16. Ilustrasi Persandingan Harga Perkerasan Beton Konvensional, Beton dengan Bahan Tambah, dan Beton Pracetak-Prategang di Indonesia



Gambar 17. Perbandingan Harga Perkerasan Beton Konvensional dan Beton Pracetak di Luar Negeri

3.3.3 Lokasi yang Disurvei

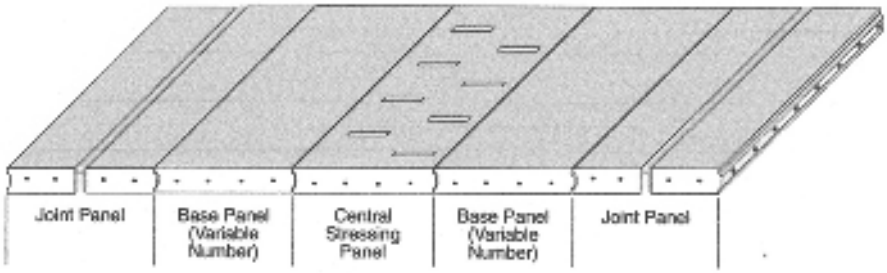
Lokasi jalan beton yang telah menggunakan sistem pracetak dan paracetak tegang sampai saat ini belum banyak digunakan, namun pada tahun 2008, di Indonesia telah dibangun jalan dengan perkerasan beton semen berteknologi pracetak, yaitu pada ruas Cakung – Cilincing dan Jalan Tol Kanci – Pejagan. Bersamaan dengan pembangunan jalan Tol Kanci-Pejagan, Puslitbang Jalan dan Jembatan melakukan suatu uji coba skala penuh yang dilaksanakan di Buntu-Kebumen (Purwokerto), Provinsi Jawa Tengah, sepanjang sekitar 1122 meter sebagai prototip beton pracetak pada tahun 2009. Pada bulan Juli – Agustus tahun 2010, dengan mengambil pengalaman kinerja jalan beton di Kanci-Pejagan, dilakukan modifikasi jumlah strand memanjang untuk diterapkan di ruas jalan Cikampek-Pamanukan (Ciasem) sepanjang sekitar 1300 meter.

Untuk kegiatan pengkajian kelayakan jalan beton dengan sistem pracetak dan pracetak tegang dipilih lokasi uji coba skala penuh di ruas jalan Buntu – Kebumen, Provinsi Jawa Tengah dan jalan Cikampek-Pamanukan (Ciasem) jalan Cikampek-Pamanukan (Ciasem dengan pertimbangan jalan masih baru dan datanya lengkap untuk bahan pengkajian kelayakan.

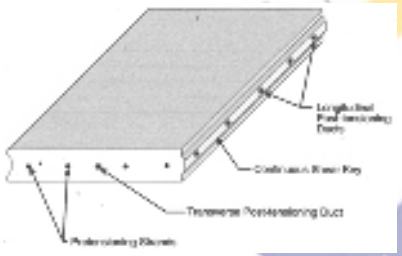
3.3.4 Pelaksanaan Lapangan

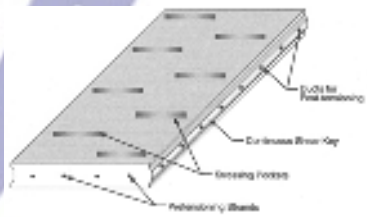
3.3.4.1 Jenis dan Susunan Panel

Jenis dan susunan panel Perkerasan Beton Pracetak Prategang ditunjukkan pada Gambar 14.

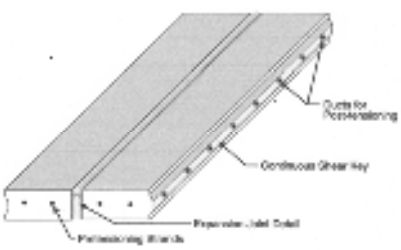


a. Susunan tipikal panel (*typical panel assembly*)

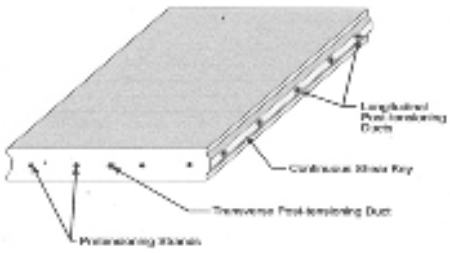




b. Panel dasar (*base panel*) c. Panel tengah penarikan (*central stressing panel*)



d. Panel penyambung (*joint panel*)



e. Panel tipikal untuk penggantian (*typical panel for for a removal and replacement application)*

Gambar 18. Susunan dan jenis panel perkerasan beton pracetak

3.3.4.2 Langkah-langkah Pemasangan Panel

Pada Gambar 19 diilustrasikan urutan pemasangan panel perkerasan beton pracetak prategang yang dilakukan pada Jalan Ciasem Jawa Barat.

a. Penumpukan panel di lapangan

b. Penempatan panel pada posisinya

c. Pemasangan kabel prategang

d. Kabel prategang yang sudah terpasang

e. Panel-panel pracetak prategang yang sudah terpasang

Gambar 19. Ilustrasi urutan pemasangan panel pracetak prategang

3.3.5 Saat Pelaksanaan Perkerasan Beton Pracetak

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa pemasangan panel-panel beton pracetak dilakukan pada siang hari di mana selama pelaksanaan, lajur lalu-lintas arah Pamanukan - Cikampek ditutup secara menerus untuk lalu-lintas. Sehingga jalur Cikampek – Pamanukan (2 lajur) digunakan untuk dua arah.

3.3.6 Kinerja

3.3.6.1 Kondisi

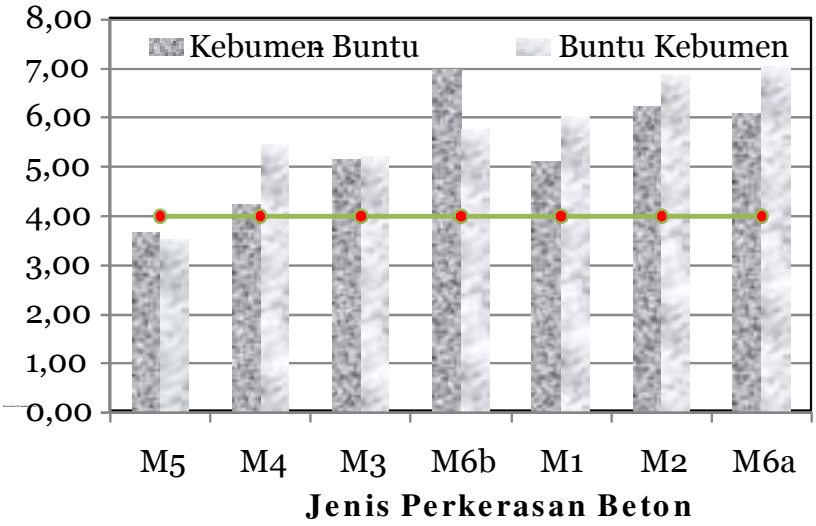
Sesuai dengan hasil pengamatan lapangan terhadap perkerasan beton pracetak prategang yang berumur kurang dari satu tahun, pada Gambar 20 ditunjukkan beberapa ilustrasi kondisi perkerasan.

Pada Gambar 20 terlihat beberapa cacat dalam bentuk gompal pada tepi panel, alur yang dangkal, retak, gompal pada sambungan, kantung penarikan (*sterssing pocket*) yang cacat, retak antara kantung penarikan.

Gambar 20. Beberapa cacat pada panel pracetak prategang

3.3.6.2 Ketidakrataan

Sesuai dengan hasil pengujian ketidakrataan pada beberapa segmen perkerasan beton pracetak prategang dan perkerasan beton konvensional ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 21, dan Gambar 22.



Gambar 21. Ketidakrataan perkerasan beton Buntu

Keterangan :

M5 : Pracetak-Prategang, 6 Strands
M4 : Pracetak-Prategang, 4 Strand + Wire Mesh
M3 : Pracetak, Beton Karet
M6b : Cor Di Tempat, Beton Normal
M1 : Pracetak, Beton Normal
M2 : Cor Di Tempat, Beton dengan Fiber
M6a : Cor Di Tempat, *Post-tensioned*, 12 Strands

Gambar 22. Ketidakrataan Perkerasan Beton Semen Pracetak Ciasem

Pada Gambar 22 ditunjukkan bahwa Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang di Ciasem mempunyai ketidakrataan antara 4 dan 6 m/km, Untuk perbandingan, pada Gambar 15 ditunjukkan ketidakrataan Perkerasan Beton Semen Konvensional di Jatibarang yang bernilai antara 4 dan 8 m/km.

Data di atas menunjukkan bahwa berdasarkan ketidakrataan, kinerja Perkerasan beton Semen Pracetak Prategang adalah cukup bervariasi. Sehubungan dengan hal tersebut, dapat dikatakan pula bahwa Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang di Ciasem mempunyai mutu yang lebih baik daripada Perkerasan Beton Konvensional.

3.3.7 Hasil Survai Lalu lintas

3.3.7.1 Volume Harian

Berdasarkan survei volume lalu lintas pada bulan Mei 2010 diketahui bahwa LHR pada Ruas Buntu-Kebumen (Tatang Dachlan,dkk), ditunjukkan pada

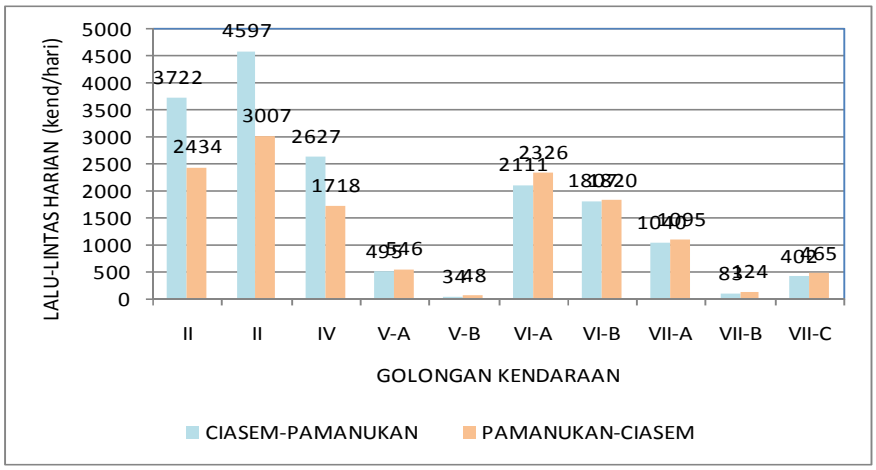
Tabel 13, sedangkan pada Ruas Jalan Ciasem-Pamanukan ditunjukkan pada Tabel 12 dan Gambar 23.

Tabel 12. Lalu-lintas harian Ruas Buntu-Kebumen

M.Penumpang (MP)	8071
Truck ringan (T1-1)	622
Truck berat (T2-1)	158
Truck gandeng (Gd)	378
Trailer ringan (Tr-1)	105
Trailer sedang (Tr-2)	112
Trailer Berat (Tr-3)	129
Bus (B)	802

Tabel 13. Lalu-lintas harian Ruas Ciasem-Pamanukan

Kelas Kendaraan	Ciasem-Pamanukan	Pamanukan-Ciasem	Kedua Arah
II	3722	2434	6156
III	4597	3007	7604
IV	2627	1718	4345
V-A	495	546	1041
V-B	34	48	82
VI-A	2111	2326	4437
VI-B	1807	1820	3627
VII-A	1040	1095	2135
VII-B	83	124	207
VII-C	402	465	867
Total	**16918**	**13582**	**30500**



Gambar 23. Lalu-lintas harian Ciasem-Pamanukan

3.3.7.2 Jumlah Kendaraan Per Jam dalam Satu Hari

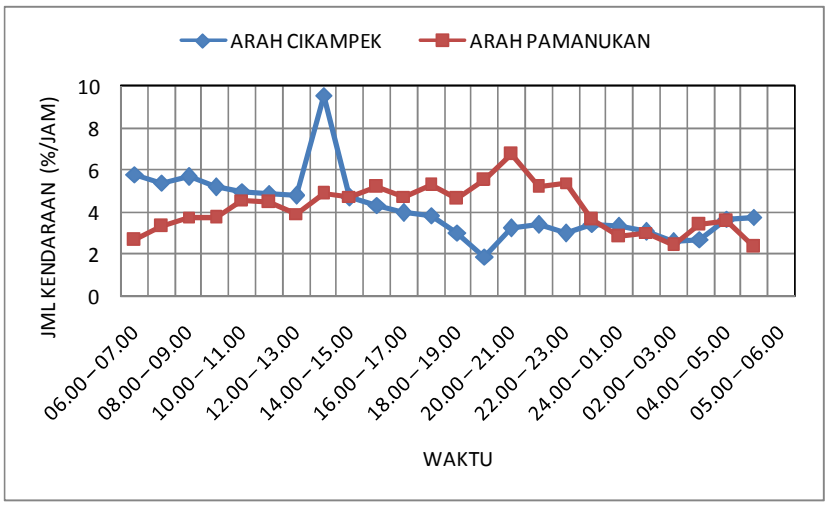
Karena pelaksanaan perkerasan beton pracetak perlu memperhatikan saat-saat sepi pada setiap hari (untuk mengurangi kerugian akibat kemacetan), maka untuk mengetahui saat-sat tersebut telah dilakukan survei jumlah kendaraan pada setiap jam. Survei pada Ruas Ciasem-Pamanukan menghasilkan Data lalu-lintas per jam selama 24 jam ditunjukkan pada Tabel 14, Gambar 24 dan Gambar 25.

Tabel 14. Jumlah kendaraan Ciasem-Pamanukan per jam selama 24 jam

Waktu Jam - Jam	Jumlah Kendaraan		Total Kendaraan
	Arah Cikampek	Arah Pamanukan	
06.00 – 07.00	843	495	1338
07.00 – 08.00	787	608	1395
08.00 – 09.00	829	694	1523
09.00 – 10.00	758	686	1444
10.00 – 11.00	725	847	1572
11.00 – 12.00	715	826	1541
12.00 – 13.00	699	723	1422
13.00 – 14.00	1396	895	2291

Waktu Jam - Jam	Jumlah Kendaraan		Total Kendaraan
	Arah Cikampek	Arah Pamanukan	
14.00 – 15.00	685	873	1558
15.00 – 16.00	630	956	1586
16.00 – 17.00	580	874	1454
17.00 – 18.00	561	977	1538
18.00 – 19.00	443	848	1291
19.00 – 20.00	272	1018	1290
20.00 – 21.00	469	1243	1712
21.00 – 22.00	493	962	1455
22.00 – 23.00	436	995	1431
23.00 – 24.00	503	672	1175
24.00 – 01.00	482	516	998
01.00 – 02.00	448	561	1009
02.00 – 03.00	375	449	824
03.00 – 04.00	396	627	1023
04.00 – 05.00	534	657	1191
05.00 – 06.00	552	434	986

Gambar 24. Jumlah kendaraan Ciasem-Pamanukan selama 24 jam (buah/jam)



Gambar 25. Jumlah kendaraan Ciasem-Pamanukan selama 24 jam (persen/jam)

Pada Gambar 19 dan 20 terlihat bahwa Volume kendaraan per jam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun demikian, biaya kemacetan dapat dikurangi apabila pelaksanaan pada Arah Cikampek dilakukan antara Pukul 17.00 dan Pukul 06.00; sedangkan pelaksanaan pada Arah Pamanukan dilakukan antara Pukul 01.00 dan 09.00.

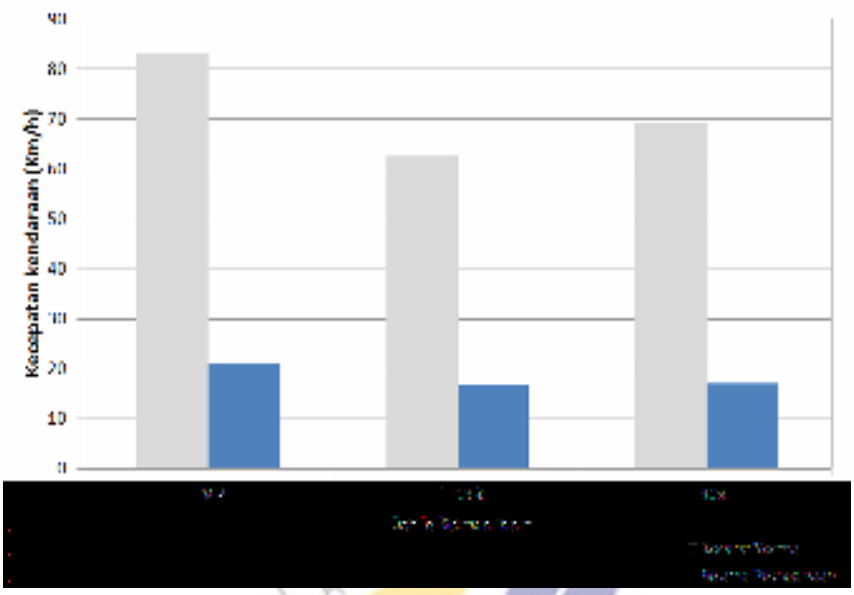
3.3.7.3 Kecepatan Kendaraan

Untuk mengetahui pengaruh pelaksanaan terhadap kelancaran lalu-lintas, maka pada saat pelaksanaan perkerasan beton pracetak di Ruas Ciasem-Pamanukan telah dilakukan pengukuran kecepatan kendaraan yang menggunakan lajur yang berdampingan dengan lajur yang sedang ditangani. Pengukuran kecepatan dilakukan terhadap 3 (tiga) jenis kendaraan yaitu mobil penumpang (MP), Truck dan Bus.

Sebagai perbandingan, telah dilakukan pula pengukuran kecepatan kendaraan pada ruas yang sama (tidak ada pekerjaan). Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 15 dan Gambar 26.

Tabel 15. Kecepatan Kendaraan

Jenis Kendaraan	Kecepatan Rata-Rata (Km/Jam)	
	Selama Pelaksanaan	Kondisi Normal
MP	21,18	83,10
Truck	16,75	62,66
Bus	17,03	69,13



Gambar 26. Kecepatan kendaraan normal dan selama pelaksanaan

Pada Tabel 15 dan Gambar 26, terlihat bahwa selama pelaksanaan di siang hari, kecepatan kendaraan dapat menurun sampai sekitar 25 persen dari kecepatan normal (tidak ada pelaksanaan).

Pada Tabel 4 ditunjukkan bahwa biaya operasi mobil penumpang (model rata-rata) pada jalan yang diperkeras dengan kecepatan 88 km/jam adalah $ 25,25/1000 km; sedangkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sekitar $ 40/1000 km (hasil ekstrapolasi).

Data di atas menunjukkan bahwa akibat pelaksanaan Perkerasan beton Semen Pracetak Prategang pada siang hari, penggunaan satu buah mobil penumpang akan menderita kerugian sekitar $15,75/1000 km, atau sekitar Rp157,5/km/kendaraan.

3.3.8 Biaya Operasi Kendaraan (BOK)

Salah satu sasaran pembuatan jalan adalah untuk menghemat jumlah biaya-biaya konstruksi, perawatan dan biaya operasi kendaraan (BOK/VOC), ketiga biaya tersebut tidak berdiri sendiri-sendiri. BOK tergantung dari jumlah dan type kendaraan yang memakai jalan yang dinilai, termasuk maksud atau tujuan dari perjalanan itu *(trip classification).*

Selain itu BOK dipengaruhi oleh geometrik alinemen jalan, pemakaian bahan bakar akan lebih banyak bila melalui jalan banyak tanjakan terjal sehingga BOK akan lebih tinggi dibandingkan dengan operasi di jalan yang datar. Tingkat kekasaran permukaan jalan *(road surface roughness*) juga berpengaruh pada BOK mengingat akibatnya pada komponen kendaraan seperti ban dan suku cadang.

Hasil perhitungan Biaya Operasi Kendaraan (BOK) pada jalan Cikampek – Pamanukan ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Biaya Operasi Kendaraan (BOK)

Jenis Kendaraan	BOK Tidak Tetap	Komponen BOK Tidak Tetap (Rp/km)				
	Rp/km	BBM	Oli	Suku Cadang	Upah	Ban
Sedan	1,349	787	36	111	398	17
Utiliti	1,467	903	36	91	398	39
Bis Kecil	2,893	1,299	62	178	1,257	97
Bis Besar	3,046	1,744	124	141	889	148
Truk Ringan	2,770	1,877	62	43	691	97
Truk Sedang	3,792	2,269	124	184	1,071	144
Truk Berat	5,001	3,937	248	47	545	223
Keterangan						

3.3.9 Evaluasi Ekonomi

Terdapat beberapa metode analisis ekonomi yang dapat diterapkan untuk evaluasi berbagai alternatif desain perkerasan. Metode tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Metode biaya tahunan *(annual cost method).*
b. Metode nilai sekarang *(present worth method)* untuk:
   i. Biaya *(costs)* atau
   ii. Keuntungan *(benefit)* atau
   iii. Keuntungan dikurangi biaya, biasa diistilahkan menjadi metode nilai sekarang neto *(net present worth or net present value method).*
c. Metode pengembalian suku bunga *(rate-of return method).*
d. Metode rasio keuntungan-biaya *benefit-cost ratio method).*
e. Metode keefektipan-biaya *(cost-effeciveness method).*

Untuk mengkaji kelayakan jalan beton dengan sistem pracetak prategang diperlukan evaluasi ekonomi. Pada pengkajian ini, evaluasi ekonomi dilakukan terhadap jalan beton pracetak di jalan Cikampek – Pamanukan (Ciasem) panjang sekitar satu kilometer dengan masa pelaksanaan selama 15 hari, sedangkan sebagai pembanding digunakan perkerasan beton semen konvensional dengan panjang yang sama, masa pelaksanaan 30 hari. Analisis ekonomi dilakukan dengan metoda nilai sekarang *(present worth method)* dengan asumsi biaya tambahan pengguna jalan yang terkait dengan nilai waktu, operasi kendaraan, ketidaknyamanan menurut profil kinerja dan biaya pemeliharaan tiap tahun diabaikan, karena ketidakpastian data yang tersedia. Disamping itu, biaya-biaya tersebut dianggap sama untuk kedua jenis perkerasan.

Hasil perhitungan analisis ekonomi dengan metode nilai sekarang ditunjukkan pada Tabel 17.

Tabel 17 Analisis Biaya Perkerasan Beton Pracetak dan Beton Semen Konvensional (Pantura Jawa Barat)

Unsur (Item)	Biaya Per Kilometer			
	PRACETAK		BETON SEMEN	
	JUMLAH DAN TAHUN	PW (2010)	JUMLAH DAN TAHUN	PW (2010)
BIAYA AGENSI *(AGENCY COSTS)*				
1. Biaya pelaksanaan termasuk biaya engineering		5,247,628,236		3,522,228,000
2. Biaya pemeliharaan	diabaikan	diabaikan	diabaikan	diabaikan
3. Nilai Sisa	diabaikan	diabaikan	diabaikan	diabaikan
Total PW Biaya Agency (menurut nilai Tahun 2010)	-	5,247,628,236	-	3,522,228,000
BIAYA PENGGUNA JALA *(USER COSTS)*				
1. Nilai waktu, BOK, nilai kecela kaan, nilai ketidaknyamanan	diabaikan	diabaikan	diabaikan	diabaikan
2. Biaya tambahan akibat kema- cetan selama pelaksanaan		1,303,620,551		2,607,241,102
Total PW Biaya Pengguna Jalan menurut nilai Tahun (2010)		1,303,620,551		2,607,241,102
Total PW Biaya Agency + Biaya Pengguna Jalan		**6,551,248,787**		**6,129,469,102**

CATATAN:

1. Biaya tambahan pengguna jalan yang terkait dengan nilai waktu, operasi kendaraan, ketidaknyamanan menurut profil kinerja dan biaya pemeliharaan tiap tahun diabaikan, karena ketidakpastian data yang tersedia.
2. P.W. = *Present Worth* (nilai sekarang)

Perhitungan biaya untuk beton pracetak pracetak-tegang dan beton konvensional disajikan pada Tabel 17, di mana biaya kapital awal pembangunan disajikan pada bagian atas dan biaya tambahan pengguna

jalan *(extra user costs)* yang diakibatkan oleh kegiatan pelaksanaan disajikan pada bagian bawah tabel.

Pada Tabel 17 terlihat bahwa (Total PW Biaya Agensi + Biaya Pengguna Jalan) beton pracetak prategang adalah lebih besar bila dibandingkan dengan (Total PW Biaya Agensi + Biaya pengguna jalan) beton konvensional. Hal ini disebabkan biaya kapital awal yang besar, walaupun biaya tambahan pengguna jalan akibat kemacetan selama pelaksanaan yang lebih rendah.

Dalam Tabel 18 ditunjukkan hasil perhitungan perbandingan antara PPCP dengan Beton Konvensional di Jalan Persocaan Skala Penuh Buntu-Kebumen.

Tabel 18. Perhitungan antara PPCP dan Beton Konvensional

	PPCP	Konv
Initial Construction Cost	3.437.175	2.400.898
Joint Sealing (year 10 and 20)	10.000	50.000
Routine Annual Maintenance	1.000	4.000
Salvage	114.000	114.000
P/F,10 thn	0,5083	7,0236
P/A, 20 thn	0,2584	10,594
Present Worth	4.659.582	3.675.043

Dari hasil perhitunagn menunjukkan bahwa harga PPCP lebih mahal dari pada beton konvensional. Harga ini belum memperhitungkan *user cost* akibat jalan yang lebih baik dan kecepatan menjadi lebih tinggi dari pada sebelum dipasang perkerasan beton.

4

PENUTUP

4.1 Hasil Kajian Ekonomi

1) Data yang diperoleh sejauh ini menunjukkan bahwa biaya konstruksi perkerasan beton pracetak adalah sekitar Rp639.954 per meter persegi, sedangkan biaya konstruksi perkerasan beton konvensional adalah sekitar Rp371.880 per meter persegi. Angka di atas menunjukkan bahwa biaya per meter persegi konstruksi Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang adalah lebih dari 1,7 kali biaya Perkerasan Beton Semen Konvensional, atau lebih mahal sekitar Rp268.000 per meter persegi. Bila dibandingkan dengan harga perkerasan beton pracetak-prategang di jalan uji coba skala penuh di Buntu-Kebumen Rp477.500 per meter persegi, maka relatif lebih mahal Rp106.000 atau 1,4 kali biaya perkerasan beton konvensional.
2) Untuk Jalan Pantura Jawa Barat
   a) Volume kendaraan per jam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun demikian, biaya kemacetan dapat dikurangi apabila pelaksanaan pada Arah Cikampek dilakukan antara Pukul 17.00 dan Pukul 06.00; sedangkan pelaksanaan pada Arah Pamanukan dilakukan antara Pukul 01.00 dan 09.00. Hal tersebut dikarenakan pada periode tersebut, volume lalu-lintas adalah

rendah dan di bawah kapasitas jalan. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa pada periode tersebut, kecepatan kendaraan tetap pada kecepatan normal.

b) Biaya operasi kendaraan merupakan fungsi dari kecepatan kendaraan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemacetan adalah kecepatan kendaraan yang menurun, yaitu makin lambat kendaraan, makin macet lalu-lintas. Dengan pengertian lain dapat dikatakan bahwa makin macet lalu-lintas, makin besar biaya operasi kendaraan.

c) Selama pelaksanaan di siang hari, kecepatan kendaraan dapat menurun sampai sekitar 25 persen dari kecepatan normal (tidak ada pelaksanaan).

d) Biaya operasi mobil penumpang (model rata-rata) yang pada jalan diperkeras dengan kecepatan 88 km/jam adalah $ 25,25/1000 km; sedangkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sekitar $ 40/1000 km (hasil ekstrapolasi).

e) Akibat pelaksanaan Perkerasan beton Semen Pracetak Prategang pada siang hari, penggunaan satu buah mobil penumpang akan menderita kerugian sekitar $ 15,75/1000 km, atau sekitar Rp157,5/km/kendaraan.

f) Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang di Ciasem mempunyai ketidakrataan antara 4 dan 6 m/km, Untuk perbandingan, ketidakrataan Perkerasan Beton Semen Konvensional di Jatibarang dengan nilai antara 4 dan 8 m/km.

g) Berdasarkan ketidakrataan, kinerja Perkerasan beton Semen Pracetak Prategang adalah cukup bervariasi. Sehubungan dengan hal tersebut, dapat dikatakan pula bahwa Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang di Ciasem mempunyai mutu yang lebih baik daripada Perkerasan Beton Konvensional.

h) Hasil analisis biaya berdasarkan biaya total nilai sekarang (*present worth method*), beton pracetak prategang lebih mahal dibandingkan dengan biaya beton konvensional, walaupun biaya

tambahan pengguna jalan akibat kemacetan selama pelaksanaan yang lebih rendah.

i) Berdasarkan analisis di atas, perkerasan beton semen pracetak prategang dinilai kurang layak dibandingkan dengan perkerasan beton semen konvensional.

3) Penggunaan prosedur analisis LCC untuk menganalisis alternatif-alternatif desain baru merupakan prosedur yang sudah terbukti dan bisa diterima. Proses tersebut juga berlaku dalam menyeleksi alternatif rehabilitasi perkerasan.

4.2 Saran dan Tindak Lanjut

Agar perkerasan beton semen pracetak prategang layak, maka beberapa hal yang disarankan untuk diperhatikan adalah:

1) Pengendalian mutu perlu diperketat
2) Pelaksanaan dilakukan pada periode lalu lintas sepi (malam hari), mulai sekitar pukul 20.00 sampai dengan pukul 06.00
3) Penutupan lajur jalan dilkukan dengan kondisi lalu lintas setempat, tidak dilakukan selama 24 jam, tetapi disesuaikan dengan masa pelaksanaan setiap hari.
4) Perlu mempertimbangkan ruang bebas vertikal untuk menghindari bentangan utilitas (kabel PLN, Telepon, dll.), pohon dan papan iklan).
5) Perlu menyiapkan oprit yang dapat dipindahkan (*mobile*) termasuk peralatan *crane* yang selalu siap di lapangan, untuk menyediakan menyediakan pijakan kendaraan naik ke atas perkerasan beton pracetak.

PUSJATAN

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO (1992). *The Guide of Pavement Design.* Subcommittee on Prestressed Concrete Pavement.

American Concrete Institute, ACI (ACI 325.7R-88. *Recommendation for Designing Prestressed Concrete Pavements).*

Austroad (1992). *Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Road Pavements. Sydney 1992.*

Balitbang PU (2009). *Perkerasan Jalan Beton Semen Pracetak, Seksi 5.7.* Spesifikasi Khusus (PT-0), Bidang Jalan dan Jembatan.

Bina Marga, Dept. PU (2007). *Bahan Presentasi Beton Pracetak di Cakung-Cilincing.*

Dachlan, A.T. *Laporan Akhir Tahun 2009, Kajian dan Pengawasan Uji Coba Skala Penuh Teknologi Perkerasan Jalan Beton Semen dengan Metoda Pracetak*. Pusat Peneletian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. 2009.

David K. Merrit, B.Frank McCullough, Ned H Burns, and Anton K Schindler. Federal Highway Administration (February, 2000). *The Feasibility of Using Precast Concrete Panels to Expedite Highway Pavement Construction*. Research Report 1517-1. The University of Texas at Austin 3208 Red River, Suite 200 Austin, TX 78705-2650.

Dept. P.U. (2003). *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Pedoman Konstruksi dan Bangunan. Pd T-14-2003. Departemen Pekerjaan Umum (dulu Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah).

Federal Highway Administration (February, 2007). *Precast Concrete Panel Systems for Full-Depth Pavement Repairs*. Field Trials. Publication No. FHWA-HIF-07-019. Washington DC 20590.

Indocement Tunggal Prakarsa Tbk, PT (2006). *Precast Concrete Study.* Market Development Division.Bahan presentasi. Project No: ST-02-07.

Leksminingsih, Dra (2008). *Penelitian Joint Sealant untuk Sambungan Perkerasan Beton Semen.* Jurnal Jalan dan Jembatan. Volume 26 No. 2, Agustus 2009. ISSN: 1907-0284

Luh M.Chang, Yu-Tzu Chen, Sangwook Lee (June 2004). *Using Precast Concrete Panels For Pavement Construction In Indiana.* Joint Transportation Research Program. Project No.C-36-46X.File No.5-11-24, SPR-2779. Purdue University West Lavayette, IN 47907.

State of Florida Department of Transportation (2006*). Rigid Pavement Design Manual.* Pavement Management Office 605 Suwannee Street, M.S.70 Talahassee, Florida 32399-0450. Document No. 625-010-006-d. January 2006.

Semesta Marga Raya (SMR), PT (2009). *Proyek Pembangunan Jalan Tol Kanci-Pejagan.* PT. *Adhi Concrete Pavement System (ACPS)*. Divisi Konstruksi II. Jl.Juanda 39, Jakarta Pusat.

The Asphalt Institute (MS-17, 2000*). Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation*. The Asphalt Institute Manual Series 17 (MS-17). Reserach Park Drive.PO Box 14052. Lexington Kenyutcky.

Yoder, E.J. and Witczak M.W. *Principles of Pavement Design*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1975.

Overseas Road Note 3, , 2000, A guide to surface dressing in tropical and sub-tropical countries). 2nd Edition, Transport Reseach Laboratory (TRL), Departmen For International Development (DFID). Berkshire-Crowthorne. United Kingdom.

Utah Department of Transportation, 2007. Life Cycle Cost Analysis. Engineering Services Division Value Engineering. August 2007.

CATATAN

PUSJATAN

CATATAN

PUSJATAN