



Analisis penyebab retak melintang dan retak rambut pada perkerasan kaku (studi kasus jalan tol Bakauheni-Sidomulyo di Lampung Selatan)

Rainal^a, Chatarina Niken^{b,*}, Muhammad Karami^c

^a Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^b Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^c Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

HIGHLIGHTS

- Retak setelah pengecoran yang terjadi pada pekerjaan jalan tol Trans Sumatra di ruas Bakauheni-Sidomulyo telah dievaluasi.
- Terdapat tiga jenis retak yaitu retak pertengahan segmen, retak *saw joint*, dan retak rambut.
- Retak terjadi karena proses pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima 5 Nopember 2019

Diterima setelah diperbaiki 12 Februari 2020

Diterima untuk diterbitkan 22 Februari 2020

Tersedia secara *online* 12 Maret 2020

Kata kunci:

Retak melintang pertengahan segmen,
retak as segmen,
retak rambut

ABSTRAK

Pekerjaan perkerasan kaku pada proyek jalan tol trans Sumatera ruas Bakauheni-Sidomulyo, terjadi retak setelah pengecoran. Hal ini menyebabkan kerugian bagi pengguna jasa, sehingga perlu untuk menganalisis terjadinya retak tersebut. Hasil analisis ini menjadi bahan pertimbangan dalam pengecoran perkerasan kaku, sehingga retak tersebut tidak kembali terjadi. Pengamatan dalam penelitian ini dilakukan sepanjang 39,4 km dengan dua jalur - empat lajur, yang terbagi menjadi 31.520 segmen. Retak melintang dibagi dua tipe, yaitu retak pertengahan segmen dan retak *saw joint*. Jumlah retak melintang pertengahan segmen sebanyak 185 buah (0,58% dari total pengecoran), retak melintang *saw joint* 134 segmen (0,42% dari total pengecoran). Selain retak melintang terdapat juga retak rambut, yang terjadi sepanjang 125 segmen (0,40% dari total pengecoran). Retak pertengahan segmen disebabkan adanya interval pengecoran yang lebih dari 15 menit antara beton yang telah terhampar dengan beton yang belum terhampar, sehingga terjadi perbedaan kembang dan susut pada batasnya. Retak *saw joint* dikarenakan bergesernya tulangan *dowel* dari as segmen dan keterlambatan pemotongan beton yaitu lebih dari 18 jam. Untuk penyebab retak rambut dikarenakan tidak meratanya penyiraman cairan *curing compound* saat proses pengecoran berlangsung. Retak ini juga dapat muncul saat masa pemeliharaan beton. Pemeliharaan dilakukan dengan cara penyiraman air ke permukaan beton, selain itu retak juga dapat muncul karena pemeliharaan yang dilakukan kurang dari 7 hari.

Diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

1. Pendahuluan

Banyak kasus kecacatan yang sering terjadi dalam perkerasan kaku atau *rigid pavement*, khususnya di Indonesia yang bersuhu tropis lembab. Kasus yang sering terjadi yaitu hasil pengecoran yang tidak sempurna. Hal ini dapat diakibatkan kesalahan metode pengecoran perkerasan kaku, sehingga menyebabkan terjadinya keca-

* Penulis koresponden.

Alamat E-mail: chatarina.niken@eng.unila.ac.id (C.Niken).

Peer review dibawah tanggung-jawab Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

<https://doi.org/10.23960/rekrjts.v24i1.7>

catan seperti retak melintang dan retak rambut. Cacat tersebut terjadi sebelum perkerasan kaku dilewati kendaraan, bahkan retak tersebut timbul saat proses pengecoran perkerasan kaku sedang berlangsung sampai masa pemeliharaan beton selama 7 hari.

Sebenarnya retak perkerasan kaku sudah diberi tempat yang khusus yaitu retak di posisi pemotongan (*cutting*) segmen dan bukan di ruas segmen lainnya. Retak bisa terjadi apabila kedalaman dan waktu *cutting* tidak sesuai ketentuan [1].

Di tempat yang jauh dari sambungan biasanya terjadi pembentukan retak rambut. Retak rambut biasanya muncul selama proses pengerasan beton. Retak tersebut dipicu oleh suhu di lokasi pengecoran tinggi sehingga menyebabkan

suhu beton semakin meningkat. Suhu di Indonesia berkisar 27°C - 32°C, sedangkan suhu tertinggi beton saat proses terjadinya pengerasan dapat mencapai 60°C [2]. Raoufi dkk. [1] menyatakan bahwa tegangan sisa pada pemotongan perkerasan kaku dipengaruhi oleh cuaca. Proses pengerasan beton pada umur awal juga dipengaruhi oleh suhu sekitar. Berdasarkan hal itu maka perlu diperhatikan juga pemilihan waktu pengecoran di Indonesia.

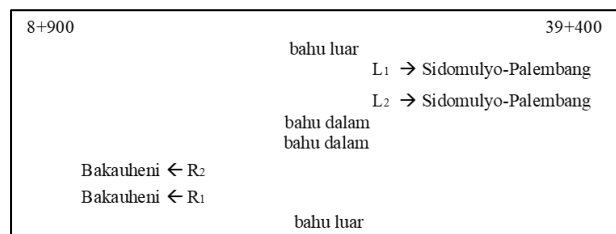
Penyebab retak melintang dan retak rambut perlu dipahami oleh pelaksana lapangan. Dengan memahami, para pelaksana dapat menentukan waktu pengecoran, proses pengecoran, waktu dan kedalaman pemotongan beton sampai masa pemeliharaan beton setelah pengecoran. Para pelaksana perlu menyadari bahwa apabila retak melintang dan retak rambut terjadi akan menyebabkan pekerjaan perbaikan atau bahkan pengulangan proses pekerjaan dari awal pada segmen tersebut, sehingga menyebabkan kerugian pada perusahaan. Bila hal tersebut terjadi sebelum masa pemeliharaan maka perbaikan menjadi tanggung jawab kontraktor.

Rumusan masalah adalah belum difahaminya penyebab retak melintang dan retak rambut pada pekerjaan perkerasan kaku di daerah tropis lembab dengan curah hujan tinggi seperti Indonesia. Sehingga batasan masalah dalam penelitian ini adalah jenis retak yang diamati hanya retak pertengahan segmen, retak melintang dan retak rambut, dengan waktu pengamatan sejak pengecoran dimulai sampai masa pemeliharaan beton selama 7 hari.

Adapun tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis ratak melintang pertengahan segmen, retak *saw joint*, dan retak rambut pada segmen dari proses pengecoran sampai masa pemeliharaan beton selama 7 hari. Selain itu, ada beberapa tujuan tambahan dari penelitian ini adalah dengan menganalisis retak melintang dan retak rambut pada perkerasan kaku dan dengan mengetahui penyebabnya maka para pelaku dan pengguna jasa dapat menghindari terjadinya retak melintang dan retak rambut, dan bagi pengambil kebijakan dapat menjadi masukan dalam pembuatan panduan pelaksanaan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di jalan tol Bakauheni - Sidomulyo STA 08+900 sampai STA 39+400 di Propinsi Lampung (Gambar 1).



Gambar 1 Sketma lokasi penelitian

Dari hasil penelitian Hardiyatmo [3] kerusakan dapat berbentuk retak melintang, hingga perkerasan kaku patah. Ditinjau dari jenis kerusakan yang terjadi, identifikasi penyebab utama kerusakan adalah faktor pengembangan tanah dasar sehingga diperlukan penelitian terhadap potensi dan tekanan pengembangan dari sampel tanah dasar di laboratorium. Hasil uji tekanan pengembangan di

seluruh lokasi memiliki nilai yang lebih besar daripada tekanan akibat beban perkerasan. Kerusakan rata-rata diakibatkan tekanan tanah yang mengembang melebihi tekanan perkerasan.

Menurut Roufi dkk. [1] keterlambatan pemotongan beton pada as segmen dapat menyebabkan pengembangan retak mikro dan retak rambut; dan kedalaman pemotongan (*cutting*) mempengaruhi lokasi retak dan pengembangan sisa tegangan dapat menyebabkan retak acak. Retak perkerasan dengan kedalaman D/3 *cutting* terbukti cukup. Retak melintang (*transverse cracking*) adalah retak yang posisinya tidak jauh dari terpasangnya tulangan *dowel*, dan retakan merambat ke arah melintang jalan [4].

Niken dkk. [2] telah mempelajari penyebab retak rambut perkerasan kaku pada *open traffic*. Penyebab retak susut terjadi diakibatkan penyusutan beton itu sendiri dan retak ini sering terjadi selama masa pengerasan. Bentuk retakan biasanya pendek-pendek dengan jarak yang acak, baik retak arah memanjang maupun retak melintang. Semua perkerasan kaku rentan mengalami retak susut, tetapi apabila *treatment* yang dilakukan tetap, maka retak dapat dikurangi atau dihindari.

Perkerasan kaku dengan retak melintang dan retak rambut dapat dipisahkan atau dikategorikan dan dinilai dari sedikit dan banyaknya kerusakan retak melintang dan retak rambut. Penilaian hasil pengamatan langsung dari lapangan juga disajikan oleh Bina Marga (Tabel 1 dan Tabel 2).

Tabel 1

Nilai presentase kerusakan jalan (panjang/km)

Prenstase	Kategori	Nilai
< 5%	Sedikit Sekali	2
5% - 20%	Sedikit	3
21% - 40%	Sedang	5
> 40%	Banyak	7

Sumber : Bina Marga, 1992

Tabel 2

Nilai presentase kerusakan jalan (panjang/km)

No	Jenis kerusakan	Nilai
1	Retak	5
2	Gompal	5,5
3	Lubang	6
4	Amblas	7
5	Belahan	7

Sumber : Bina Marga, 1992

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil pendataan penelitian

Hasil pendataan dalam penelitian ini dituangkan dalam bentuk monitoring harian beserta keterangan kejadian kesalahan dalam proses pengecoran perkerasan kaku sampai masa pemeliharaan beton selama 7 hari di lapangan. Dan analisis retak perkerasan kaku didukung dengan literatur penyebab retak.

Untuk mengetahui penyebab retak, peneliti mengikuti setiap pengecoran yang dilakukan. Kegiatan pengecoran disajikan dalam bentuk monitoring harian, dan selain itu juga pencatatan setiap kejadian saat pengecoran berlangsung sampai masa pemeliharaan ikut serta disajikan. Hal tersebut untuk memperkuat analisa retak

pada segmen diakibatkan kesalahan pengecoran sampai masa pemeliharaan.

Pekerjaan pengecoran jalan tol Trans Sumatera pada ruas Bakauheni – Sidomulyo STA 00+000 – 39+400, memiliki dua jalur empat lajur dengan total jumlah segmen sepanjang segmen yang dicor sebanyak 31.520 segmen, dengan panjang satu buah segmen adalah 5 meter. Terdapat jumlah retak sebagai berikut:

- Jumlah retak pertengahan segmen di pengecoran kiri (L) dan kanan (R) adalah 185 segmen, dengan persentase $185/31.520 = 0,58\%$
- Jumlah retak *saw joint* L dan R adalah 134 segmen, dengan persentase total retak $134/31.520$ yaitu $0,42\%$
- Total retak melintang $0,58\% + 0,42\%$ yaitu $1,00\%$ dari total 31.520 segmen yang dicor (39+400 sebanyak empat lajur).
- Jumlah retak rambut L dan R sebanyak 125 segmen, dengan persentase total retak adalah $125/31.520$ yaitu $0,40\%$

3.2 Pengukuran lebar retak

Setelah pengambilan sampel masing-masing 3 sampel untuk tiap jenis retak, dilanjutkan dengan pengukuran lebar dan kedalaman retak (Gambar 2 dan Gambar 3).



Gambar 2 Pengukuran lebar retak



Gambar 3 Pengukuran kedalaman retak

Setelah pengukuran lebar dan kedalaman retak melintang maupun retak rambut, kemudian data dipisahkan sesuai dengan jenis retak, lebar dan kedalaman retak melintang, yang disajikan pada Tabel 3. Sedangkan data retak rambut tercantum pada Tabel 4.

Dilihat dari Tabel 3, lebar retak melintang adalah 2,5 mm sampai 3 mm dengan kedalaman 30 cm, yang berarti retak melintang mencapai kedalaman ketebalan perkerasan kaku.

Tabel 3

Lebar dan kedalaman retak melintang

No	STA	Jalur	Lebar (mm)	Kedalaman (cm)
1	15+720	R2	2,5	30
2	31+440	R2	3	30
3	38+690	R2	3	30
4	14+955	L2	3	30
5	14+960	L2	3	30
6	20+010	L2	2,5	30

Tabel 4

Lebar dan kedalaman retak rambut

No	STA	Jalur	Lebar (mm)	Kedalaman (cm)
1	11+350	L2	1	9
2	13+500	L2	1	5
3	11+430	L2	1,5	15
4	11+800	L1	1	10
5	14+575	L2	2	27
6	11+620	L2	2	28

Lebar retak rambut dari 1 mm sampai 2 mm dengan kedalaman 5 cm sampai 28 cm, yang berarti retak rambut akan berpotensi serius karena lebar dan kedalaman retak seperti retak melintang. Retak rambut harus segera diperbaiki sebelum beban roda kendaraan melintasi perkerasan kaku dan air hujan masuk ke dalam celah-celah retak.

Baik retak melintang maupun retak rambut memiliki lebar lebih dari 0,18 mm. Menurut ASTM D6433 [5] *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Surveys* retak melintang termasuk tingkat kerusakan tinggi (*high*). Apalagi retak melintang yang terjadi 13-17 kali lipat batasan ACI Committee 224R [6].

Retak rambut dengan lebar dan kedalaman bervariasi dikategorikan tingkat kerusakannya rendah namun retak rambut jika dibiarkan akan menjadi tingkat kerusakan tinggi. Dari pengukuran sampel, retak rambut mencapai 5 - 12 kali lipat batasan ACI Committee 224R [6]. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa retak rambut yang terjadi termasuk kerusakan tinggi terlebih dengan kedalaman 10-100 %.

3.3 Kesalahan pengecoran

Dalam penelitian ini retak pada perkerasan kaku tidak luput dari kesalahan metode pengecoran. Dapat dikatakan demikian karena mengamati langsung dari mulainya proses pengecoran, pemotongan beton dan sampai masa pemeliharaan perkerasan kaku. Jumlah retak pada segmen beton dapat dilihat pada Tabel 5 sampai Tabel 7.

Tabel 5

Penyebab retak saw joint dan jumlah kesalahan pengecoran

Kesalahan	Jumlah kesalahan (segmen)
Dowel Bergeser	47
Pemotongan beton pada as segmen lebih dari 19 jam	23
Pemotongan beton pada as segmen lebih dari 20 jam	25
Pemotongan beton pada as segmen lebih dari 21 jam	6
Pemotongan beton pada as segmen lebih dari 22 jam	2
Pemotongan beton pada as segmen lebih dari 24 jam	31
Total keterlambatan pemotongan segmen	87

Retak *saw joint* berjumlah 134 segmen. Dari jumlah tersebut yang disebabkan keterlambatan pemotongan 87

segmen (65%). Dengan demikian pemotongan beton pada as segmen lebih dari 18 jam seperti yang disajikan pada Tabel 5 menjadi salah satu penyebab keretakan *saw joint*.

Tabel 6

Penyebab retak pertengahan segmen dan jumlah kesalahan pengecoran

Kendala	Penyebab	Jumlah kesalahan (Segmen)
Armada:		
• Jarak pegecoran dan armada tidak sesuai	Interval >15 menit	57
• Jumlah DT berkurang	Interval > 15 menit	19
• <i>Loading stop cor</i> > 15 menit	Interval >15 menit	3
Pekerja:		
• Jeda makan malam	Interval >15 menit	44
Akses		
• Demo warga	Interval >15 menit	7
• Jalan rusak	Interval >15 menit	10
Cuaca:		
• Pengecoran siang hari	Interval >15 menit	7
Alat:		
• Penyedot semen macet	Interval >15 menit	1
• Perbaikan genset	Interval >15 menit	2
• Loader rusak	Interval >15 menit	2
• Konveyor rusak	Interval >15 menit	4
• Perbaikan konveyor	Interval >15 menit	6
Material		
• Stok semen	Interval >15 menit	10
• Stok air habis	Interval >15 menit	2
• Stok split habis	Interval >15 menit	7
• Plastik cor habis	Interval >15 menit	2
• Plastik dowel habis	Interval >15 menit	1
• Kurangnya benda uji	Interval >15 menit	1

Tabel 7

Penyebab retak rambut dan jumlah kesalahan pengecoran

Kesalahan	Jumlah kesalahan (segmen)
<i>Curing compound</i> tidak merata	9
Pemeliharaan beton tanpa <i>geoteks</i>	6
Pemeliharaan beton kurang 3 hari	2

Dalam penelitian ini, retak melintang dibagi dua tipe retak, yaitu retak melintang *saw joint* dan retak melintang pertengahan segmen. Penyebab-penyebab retak melintang *saw joint* dan retak pertengahan segmen dijelaskan sebagai berikut:

3.4 Penyebab retak *saw joint*

Saw cutting dilakukan untuk memberikan *open free* pada pelat. Tempat sambungan melintang yang dibuat dimaksudkan untuk mengendalikan retak susut pada beton, serta membatasi pengaruh tegangan lenting yang timbul pada pelat akibat pengaruh perubahan temperatur dan kelembaban [7].

Dari hasil penelitian ini penyebab retak melintang *saw joint* disebabkan pemotongan as segmen yang terlambat sekitar 19 jam sampai lebih dari 24 jam (rata-rata lebih dari 18 jam). Retak yang tidak pada as segmen terjadi pada segmen yang belum dipotong. Pemotongan segmen yang terlambat sebagai penyebab retak mencapai 65%. Dengan demikian keterlambatan pemotongan lebih dominan dibanding penyebab lain.

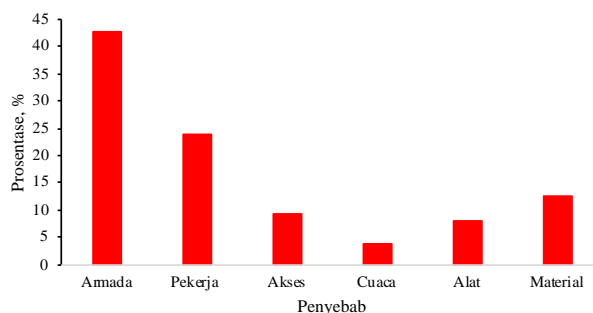
Pemotongan beton harus dilakukan antara jam ke 4 sampai jam ke 18 setelah pengecoran plat beton. Penggergajian (*saw cut*) yang terlambat dilakukan akan mengakibatkan retak melintang di sekitar letak *dowel*.

3.5 Penyebab retak pertengahan segmen

Selain retak melintang diposisi *saw joint*, retak melintang juga terjadi pada pertengahan segmen atau posisi retak yang jauh dari as segmen. Dalam penelitian ini penyebab retak pertengahan segmen terjadi dikarenakan adanya interval beton dari *batching plant* yang lama ke lokasi. Hal tersebut menyebabkan adanya perbedaan kembang dan susut yang dikarenakan perbedaan *slump*.

Pengecoran beton yang terhenti atau interval yang lama menyebabkan kedua campuran berada dalam kondisi yang berbeda, yang pertama menyusut dan yang kedua memuai atau sebaliknya. Kondisi ini menciptakan sebuah garis lemah pada batas campuran keduanya, sehingga retakan tampak sebagai retakan tunggal melintang pada jalan [2].

Penyebab terjadinya retak pertengahan segmen yang telah didata dari awal prosesnya pengecoran disebabkan terjadinya pemberhentian pengecoran beton lebih dari 15 menit. Faktor-faktor penyebab lamanya interval beton yang telah diamati, dapat dilihat pada Tabel 4 sampai Tabel 6 dan Gambar 4.



Gambar 4 Penyebab keterlambatan kontinuitas pengecoran

3.6 Penyebab retak rambut

Perawatan beton adalah usaha untuk memastikan kadar air dalam beton cukup agar proses pembentukan ikatan dalam pengerasan beton tetap berjalan optimum. Kehilangan air juga menyebabkan beton mengalami penyusutan (*shrinkage*) karena butir-butir air diikat oleh semen sehingga menimbulkan tegangan-tegangan tarik di permukaan yang mengalami pengeringan. Karena tegangan-tegangan tarik ini timbul pada waktu beton belum cukup kuat, maka terjadilah retak-retak. Retak rambut ini disebut retak susut.

a. Proses pemeliharaan beton tanpa *geoteks*

Dalam penelitian ini pemeliharaan beton tanpa *geoteks* mempengaruhi terjadinya retak rambut. Penyiraman tanpa *geoteks* mengakibatkan hilangnya air dengan cepat disebabkan oleh suhu sekitar. Beton di umur awal mengalami peningkatan suhu diakibatkan proses hidrasi. Oleh karenanya beton di umur awal memerlukan pemeliharaan dengan cara penyiraman dan ditutupi dengan *geoteks*, sehingga beton dapat mengalami hidrasi dalam kondisi

lembab yang memicu pertumbuhan ikatan silika secara optimum.

Perawatan beton merupakan faktor yang sangat penting untuk mendapatkan beton yang kedap air. Penguapan yang besar memicu penguapan air dalam pori kapiler yang menyebabkan beton menjadi bersifat lebih porosif (berpori). Semen atau beton yang kurang sempurna mengerasnya akibat kekurangan air akan banyak meninggalkan pori-pori pada gel nya dan mengurangi plastisitas beton. Plastisitas yang tinggi dibutuhkan karena volume gel CSH yang terjadi $\pm 2,1$ kali sebesar volume kering semula [8]. Bila plastisitas beton berkurang, menjadikan beton tidak mampu mengakomodasi hal ini dan timbul retak.

b. Pemeliharaan beton 3 hari

Selain pemeliharaan beton tanpa *geoteks*, retak rambut juga disebabkan oleh pemeliharaan beton kurang dari 3 hari. Oleh sebab itu penutup beton harus dipertahankan dalam keadaan basah dan meliputi seluruh permukaan beton selama minimal 7 hari.

Syahr [9] telah membandingkan hasil pengujian kuat lentur antara beton dengan perawatan konvensional (direndam) dan beton dengan perawatan compound selama 3 sampai 7 hari. Hasil pengujian menunjukkan kuat lentur beton dengan redaman cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan perawatan menggunakan *curing compound*. Dengan demikian perawatan beton di lapangan yaitu dengan cara penyiraman air selama 7 hari menggunakan *geoteks* dapat menghindari penurunan kuat tekan berlebihan.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan penyebab terjadinya retak melintang dan retak rambut pada perkerasan kaku, di jalan tol trans Sumatera Bakauheni sampai Sidomulyo didapatkan kesimpulan sebagai berikut. Total segmen yang diamati adalah 31.520 segmen, dengan hasil analisis sebagai berikut:

1. Retak pertengahan segmen terjadi dikarenakan interval pengecoran beton yang lebih dari 15 menit saat berlangsungnya proses pengecoran, sehingga terjadinya perbedaan perilaku antara campuran lama dan baru. Akibat hal tersebut timbul retak yang berbentuk garis. Penyebab interval atau jeda panjang saat proses pengecoran adalah:
 - a. Armada pengangkut beton kurang.
 - b. Jeda makan malam yang lama saat proses pengecoran berlangsung.
Material di *batching plant* habis atau pengisian material baru di saat proses pengecoran berlangsung.
 - c. Akses lokasi pengecoran kurang baik.
2. Terjadinya retak *saw joint* terjadi dikarenakan kesalahan metode pekerjaan saat proses pengecoran dan kesalahan metode pekerjaan setelah selesainya pengecoran perkerasan kaku (beton berumur 12 sampai 18 jam).
 - a. Tidak diperkuatnya dudukan *dowel (chair)* saat diletakkan di atas lantai kerja, sehingga menyebabkan bergesernya *dowel* saat proses penuangan beton.

- b. Pemotongan beton yang lebih dari 18 jam, sehingga mengalami retak alami sebelum dilakukannya pemotongan beton di posisi terlemahnya segmen yang sekaligus posisi *dowel*.
- c. Terjadinya retak rambut disebabkan kesalahan metode pekerjaan saat berlangsungnya proses pengecoran dan selesainya pengecoran perkerasan kaku.
- d. Tidak meratanya penyiraman pertama dengan cairan *curing compound* saat proses pengecoran, sehingga beton terjadi retak rambut diakibatkan hidrasi beton tidak normal akibat suhu sekitar pengecoran.
- e. Tidak digunakannya pelindung penutup beton saat proses penyiraman air saat masa pemeliharaan beton (7 hari). Sehingga tidak terjaganya suhu beton pada saat proses pengerasan beton berjalan. Hal ini menyebabkan beton kehilangan air yang berlebihan saat berlangsungnya hidrasi akibat suhu sekitar. Pemeliharaan beton yang hanya sampai 3 hari.

Daftar Pustaka

- [1] Raoufi, K.T., Their, W., Jason, J., Olek, T., Nantung, E.: Saw-cutting guidelines for concrete pavements for time and depth of saw cutting. JTRP Technical Report, Purdue-e Pub, Purdue University, 2009
- [2] Niken, C., Siswanto Y., Tjahjono, E., Widodo: Cracking of open traffic rigid pavement", 05009, 2017, 1-6
- [3] Hardiyatmo, H.C.: Analisis sebab-sebab kerusakan perkerasan dan alternatif penanganan pada jalan akses pusat misi pemeliharaan perdamaian. 2017
- [4] Suryawan, A.: Perkerasan jalan beton semen portland (rigid pavement). Penerbit Offset, Jakarta, 2005
- [5] ASTM D6433: Standard practice for roads and parking lots pavement condition surveys.
- [6] ACI Committee 224: Control of cracking in concrete structures (224R-01). Farmington hills, American Concrete Institute, 2001
- [7] Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah: Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Buku Petunjuk Teknik. Jakarta. 2002
- [8] Samekto, Wuryati, Rahmadiyahanto, Candra: Teknologi Beton. Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 2001
- [9] Syahr, A. P.: 2015. Pengaruh Cara Perawatan Terhadap Kuat Lentur Beton. Tugas Akhir. Universitas Negeri Yogyakarta. 2015.