

UJI KEKUATAN JALAN BETON BERSIRIP YANG DIPERKAKU DENGAN CARA PENEBALAN PADA BAGIAN SIRIP

Jumadi¹⁾ M. Yusuf²⁾: Hj. Vivi Bachtiar, ST. MT²

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian secara eksperimental. Pengujian dilakukan dengan cara uji pembebanan terhadap pelat beton bersirip diatas perletakan kaku dengan ukuran skala laboratorium yaitu 40 x 40 x 20 cm dengan ketebalan 2,5 cm. Benda uji terdiri menjadi dua kelompok, yaitu 4 pelat beton bersirip dengan tulangan dan 7 tanpa tulangan. Penambahan penebalan pada sirip dilakukan dengan penebalan sisi dalam sebesar 0°, 8,53°, 10°, 16,69°, 20°, 24,23° dan 30°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan penebalan pada sirip pelat beton dapat meningkatkan daya dukung pelat. Beban maksimum berdasarkan uji eksperimental pelat beton dengan tulangan kemiringan 30°, yaitu 5764,36 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 30° sebesar 5694 kg. Pelat beton dengan tulangan kemiringan 20° yaitu 3899,33 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 20° sebesar 3891,18 kg. Pelat beton dengan tulangan kemiringan 10° yaitu 2742,99 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 10° sebesar 2931,64 kg. Pelat beton dengan tulangan kemiringan 0° yaitu 2457,48 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 0° sebesar 2540,07 kg. Pelat beton tanpa tulangan kemiringan 24,23° yaitu 4498,92 kg, 16,69° sebesar 3487,37 kg dan 8,53° sebesar 3008,11 kg. Beban maksimum berdasarkan model simulasi pelat beton dengan program SAP2000 kemiringan 0°, yaitu 416 kg dan kemiringan 0°, sebesar 423 kg. Perbandingan rata-rata daya dukung pelat beton bersirip berdasarkan model simulasi dan uji eksperimental adalah sebesar 28,13%.

Kata-kata kunci: Perkerasan jalan beton, pelat beton bersirip, pelat dengan penebalan pada bagian sirip

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur jalan dan sarana pendukung lainnya menjadi indikator perkembangan pembangunan di suatu kota, karena jalan yang baik dapat memperlancar arus distribusi barang dan jasa antar wilayah. Pembangunan infrastruktur jalan yang baik dapat meningkatkan kenyamanan pengemudi di jalan raya, disamping itu dapat juga mengurangi angka kecelakaan di jalan

akibat jalan bergelombang dan berlubang yang sering terjadi di wilayah Kalimantan Barat khususnya kota Pontianak.

Umumnya jalan yang sudah dibangun pada beberapa tahun terakhir adalah jalan beton di atas permukaan tanah gambut maupun tanah lempung yang ada di kota Pontianak, namun kerusakan pada jalan tersebut yaitu retak pada bagian perkerasan karena adanya penurunan. Jalan beton yang ada sekarang tanpa menggunakan tulangan sehingga jalan

1) Alumni Prodi Teknik Sipil FT Untan

2) Dosen Prodi Teknik Sipil FT Untan

tersebut harus mempunyai ketebalan yang besar untuk menghindari perkerasan tersebut patah akibat tarik pada bagian sisi bawah beton karena permukaan perkerasan yang tipis.

Jalan beton dengan ketebalan yang besar menimbulkan beban yang besar, disamping itu daya dukung tanah gambut atau lempung yang ada sangat rendah sehingga terjadi penurunan tanah dasar akibat beban perkerasan jalan tersebut. Pada beberapa kawasan di Pontianak dan sekitarnya banyak terdapat jalan dengan perkerasan beton yang retak dan bergelombang, hal ini menunjukkan masih ada kekeliruan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur jalan khususnya perencanaan jalan beton pada permukaan tanah dasar dengan daya dukung rendah.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, tinjauan yang akan dilakukan yaitu penebalan pada bagian sambungan antara pelat dan sirip. Fungsi penebalan tersebut yaitu untuk mengurangi patah pada sambungan antara pelat dan sirip karena secara ilmu mekanika teknik daerah sambungan merupakan daerah dengan gaya lintang terbesar sehingga diperkuat dengan cara penebalan pada sambungan.

Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton sendiri (Ari Suryawan, 2009). Perkerasan kaku (rigid pavement) adalah perkerasan

yang menggunakan bahan beton, yang sifatnya kaku. Perkerasan kaku berupa pelat beton dengan atau tanpa tulangan diatas tanah dasar dengan atau tanpa fondasi bawah dan beban lalu lintas diteruskan keatas pelat beton (Asiyanto, 2010).

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini yaitu mendapatkan model dengan daya dukung optimum dengan variasi penebalan pada bagian sirip. Penelitian ini dirancang menghindari jalan beton yang retak dan bergelombang pada jalan sehingga sirip berfungsi untuk mengurangi tekanan tanah horisontal akibat beban vertikal kendaraan.

Hasil penelitian ini penting dilakukan untuk kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil dan dapat menjadi alternatif dalam perencanaan pembangunan infrastruktur jalan di daerah tanah gambut atau lempung di kota Pontianak dan sekitar.

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Kuat tekan rencana yang dirancang dalam perancangan campuran beton adalah sebesar 28 MPa sesuai peraturan SNI 03-2834-2000.
- 2) Pelat beton diberi variasi sudut pada sirip dan pelat menggunakan kemiringan 0° , $8,53^\circ$ (3/20) cm, 10° , $16,69^\circ$ (6/20) cm, 20° , $24,23^\circ$ (9/20) cm dan 30° .
- 3) Jumlah sampel sebanyak 11 buah terdiri dari 4 sampel (0° , 10° , 20° , dan 30°) menggunakan tulangan

diameter 4 mm dan 7 sampel (0° , $8,53^\circ$, 10° , $16,69^\circ$, 20° , $24,23^\circ$ dan 30°) tanpa menggunakan tulangan serta dilakukan uji pembebanan terhadap pelat beton menggunakan Universal Testing Machine.

- 4) Penelitian dilakukan di laboratorium bahan dan struktur fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, dimana pelat beton berukuran $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$, dengan tebal 2,5 cm.
- 5) Tinggi sirip sebesar 20 cm yaitu 50% dari lebar pelat. Tebal sirip sama dengan tebal pelat beton yaitu 2,5 cm.
- 6) Hasil model simulasi dengan aplikasi SAP2000 sebagai pembanding data pelat dari hasil percobaan di laboratorium.
- 7) Model pelat yang ditinjau tidak bisa dianalisis secara langsung dengan rumus mekanika sederhana sehingga menggunakan analisis metode elemen solid pada software SAP2000 versi 14.2.

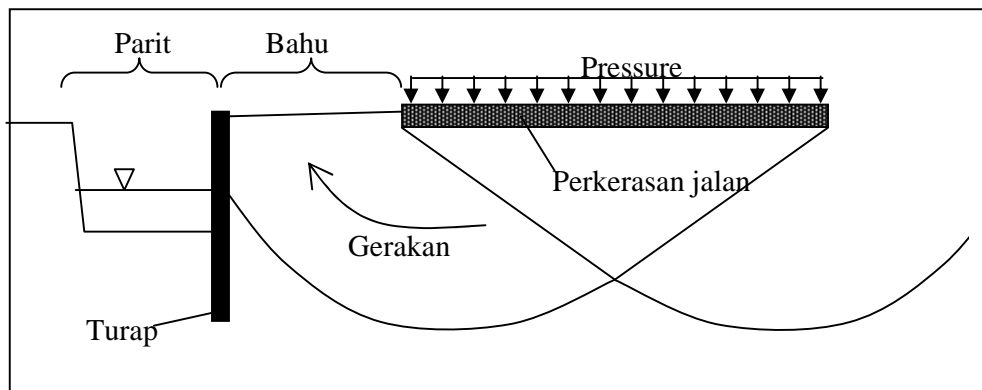
- 8) Jarak antar tulangan menggunakan pendekatan perhitungan jarak tulangan pada pelat lantai dengan menggunakan minimum.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan model pelat beton dengan daya dukung struktur yang optimum perkerasan jalan beton dengan penambahan penebalan pada bagian sirip.

KONSEP DASAR

Saluran drainasi (parit) yang besar di beberapa jalan di Kota Pontianak dan sekitarnya umumnya telah pula diperkuat dengan barau/turap dari kayu belian ataupun dari beton bertulang. Akan tetapi, penurunan pada badan jalan masih terjadi sehingga jalan bergelombang. Penyebab terjadinya fenomena tersebut adalah karena tekanan perkerasan jalan pada tanah fondasinya menyebabkan tanah di bahu jalan menjadi naik seperti diilustrasikan pada Gambar 1.

Selain itu, akibat koefisien elastik sifat fisis (rasio Poisson) tanah maka tekanan



Gambar 1. Sistem Konstruksi Jalan Konvensional di Kota Pontianak

vertikal dari kendaraan pada perkerasan jalan menyebabkan timbulnya gaya arah horisontal pada tanah di bawah perkerasan sehingga tanah bergerak ke arah horisontal. Perkerasan yang ada saat ini belum menggunakan sistem perkerasan yang mampu menahan tekanan horisontal tanah akibat beban kendaraan yang melintas di atas jalan tersebut.

Sirip-sirip yang terdapat pada model struktur perkerasan jalan beton yang diajukan dalam penelitian ini, dapat pula berfungsi sebagai penahan gaya horisontal tersebut dan mencegah tanah dasar bergerak ke arah horisontal.

STRUKTUR PERKERASAN JALAN BETON

Perkerasan kaku (rigid pavement) adalah perkerasan yang menggunakan bahan beton, yang sifatnya kaku. Perkerasan kaku berupa pelat beton dengan atau tanpa tulangan di atas tanah dasar dengan atau tanpa fondasi bawah dan beban lalu lintas diteruskan ke atas pelat beton. Perkerasan kaku bisa dikelompokkan atas:

- 1) Lapisan tanah dasar. Perkerasan kaku semen yang terbuat dari beton semen baik yang bertulang ataupun tanpa tulangan.
- 2) Perkerasan kaku komposit yang terbuat dari komposit sehingga lebih kuat dari perkerasan semen.
- 3) Kelebihan jalan beton (Asiyanto, 2010) adalah sebagai berikut:
- 4) Dapat menahan beban kendaraan yang berat.

- 5) Tahan terhadap genangan air dan banjir.
- 6) Biaya perawatan lebih murah dibanding jalan aspal.
- 7) Dapat digunakan pada struktur tanah lemah tanpa perbaikan struktur tanahnya terlebih dahulu.
- 8) Material lebih mudah didapat.
- 9) Umur rencana dapat mencapai 20 tahun.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi atas dua tinjauan yaitu:

- a) Tinjauan Sampel yang ditinjau adalah pelat beton tanpa tulangan yang diberi penebalan pada sirip yaitu (3/20) cm, (6/20) cm dan (9/20) cm kemudian diuji dengan pembebanan berjumlah 3 buah.

Tinjauan ini bertujuan untuk mendapatkan model pelat beton dengan daya dukung optimum dengan perbandingan sisi dalam sirip pelat berdasarkan perbandingan ukuran dalam cm.

- b) Sampel yang ditinjau adalah pelat beton dengan tulangan dan tanpa tulangan yang diberi penebalan pada sirip yaitu 0°, 10°, 20° dan 30° serta kemudian diuji dengan pembebanan langsung berjumlah 8 buah.

Tinjauan ini bertujuan untuk mendapatkan model pelat beton dengan daya dukung optimum dengan

perbandingan sisi dalam sirip pelat berdasarkan perbandingan ukuran dalam °.

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode pengamatan langsung. Data yang diperoleh merupakan data primer berupa data kuat tekan beton, data hasil uji pembebanan pelat.

1.1 Rancangan Penelitian

Untuk menentukan daya dukung pelat yaitu dengan memplotkan data hasil penelitian kedalam grafik garis perbandingan beban terhadap penurunan pada program Microsoft Excel 2010, kemudian hasil dari grafik tersebut dibandingkan dengan hasil grafik sampel lainnya untuk mendapatkan hasil daya dukung optimum pada pelat bersirip dengan tulangan dan tanpa tulangan..

Prinsip pelaksanaan percobaan ini adalah, beban terpusat diterapkan secara statik dan terus menerus pada pelat hingga pelat mengalami keruntuhan, hasilnya digambarkan dalam bentuk perbandingan grafik beban terhadap deformasi pelat beton bersirip diatas perletakan kaku.

1.2 Uji Pembebanan Pelat

Analisis kekuatan beton ini merupakan kegiatan analisis data yang dilakukan sebagai kontrol terhadap mutu atau karakteristik beton yang direncanakan, sehingga diketahui apakah perbandingan dari material yang digunakan menghasilkan mutu yang sesuai dengan yang diinginkan. Dimensi benda uji silinder yang diuji ialah diameter 15 cm

dan tinggi 30 cm dengan kuat tekan beton 28 MPa.

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan terlebih dahulu menimbang berat benda uji. Setelah itu, meletakkan benda uji pada mesin uji tekan dan dilakukan proses pemberian beban sampai benda uji mencapai beban maksimum dan proses pembebanan dihentikan.

Perencanaan kuat beton normal yang direncanakan yaitu 28 MPa. Hasil dari perhitungan rancangan kebutuhan campuran beton berdasarkan metode SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal sebagai berikut:

Komposisi campuran benda uji /m³:
Semen =500 kg/m³
Agregat Halus (Pasir) =691,65kg/m³
Agregat Kasar (Batu) =845,75 kg/m³
Air = 250 kg/m³

Bahan-bahan yang diperlukan dalam percobaan ini adalah:

- 1) semen, pasir, batu 0,5 cm untuk membuat adukan beton.
- 2) multipleks 5 mm dan kayu reng untuk bekisting.
- 3) bak pelat baja.
- 4) tulangan baja Ø 4 mm.
- 5) plastik cor.
- 6) kawat beton.
- 7) paku.

Alat-alat yang digunakan antara lain:

- 1) seperangkat alat tukang.
- 2) seperangkat alat pengaduk beton.
- 3) gerobak dorong.
- 4) staples.
- 5) gunting.
- 6) universal testing machine.
- 7) alat tulis.
- 8) dial gauge 5 cm
- 9) ember plastik.
- 10) sarung tangan.
- 11) geget atau tang.

Uji Setelah pelat beton mencapai kekuatannya (umur 28 hari), maka dilakukan tes pembebanan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Letakan pelat beton di mesin UTM (Universal Testing Machine).
- 2) Terapkan beban pada pelat hingga pelat mengalami retak pertama.

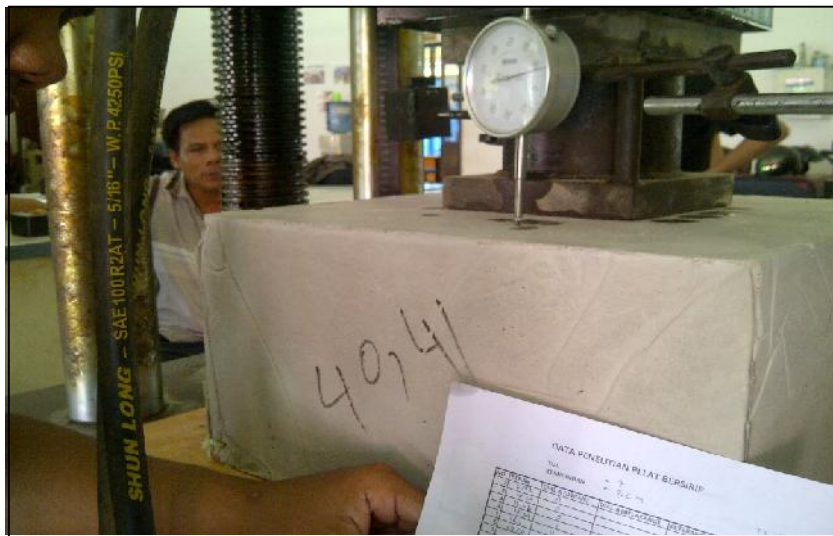
- 3) Catat daya dukung pelat.
- 4) Ulangi dari langkah (1) pada variasi model pelat yang lain.

Bentuk uji pembebanan pelat dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.3 Data Uji Tekan Beton Silinder

Setelah 1 hari beton dilepaskan dari cetakan dan direndam di bak air, sehari sebelum tes tekan beton 28 hari maka beton di angkat dan bagian atas beton dilapisi dengan sulfur. Sampel silinder beton di uji tes tekan beton menggunakan mesin UTM sampai beton mengalami retak. Selanjutnya hasil kuat tekan beton tersebut menjadi acuan



Gambar 2. Gambar uji pembebanan pelat beton bersirip

untuk membuat campuran adukan pelat beton bersirip.

1.4 Perbandingan Beban Terhadap Deformasi Berdasarkan Data

Pelat beton bersirip kemiringan 20° menghasilkan grafik dengan beban yang besar namun deformasi kecil, pada deformasi 1,6 mm beban yang mampu dipikul pelat beton yaitu 3601,58 kg sedangkan pada deformasi yang sama,

Tabel 1. Hasil uji tes beton silinder mutu 28 MPa setelah 28 hari

No. Benda Uji	Massa (kg)	Kuat Tekan (kN)	Luas Silinder (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	11,51	530,22	176,625	30,02
2	11,96	474,92	176,625	26,89
3	11,61	512,65	176,625	29,02
Rata-rata				28,64

Eksperimental

Dalam penelitian ini, pembebanan secara langsung (Loading Test) dilakukan terhadap pelat dengan variasi kemiringan pada sirip yaitu 0°, 10°, 20°, 30° dengan penambahan tulangan dan tanpa tulangan serta variasi kemiringan sirip 8,53° (3/20) cm, 16,69° (6/20) cm, 24,23° (9/20) cm tanpa tulangan.

Perbandingan yang didapat dari Gambar 3 yaitu semakin besar penambahan penebalan pada pelat beton bersirip dengan tulangan maka beban maksimum (P_{maks}) yang dihasilkan semakin besar pula. Pelat beton bersirip kemiringan 30° menunjukkan grafik yang beban sebanding dengan deformasinya, yaitu penambahan beban secara terus menerus menghasilkan deformasi yang semakin besar.

pelat beton bersirip kemiringan 30° memikul beban sebesar 3368,07 kg. Beban maksimum (P_{maks}) terletak pada pelat beton bersirip kemiringan 30° yaitu 55764,36 kg, pelat beton bersirip kemiringan 20° sebesar 3899,33 kg, pelat beton bersirip kemiringan 10° sebesar 2742,99 kg dan pelat beton bersirip kemiringan 0° sebesar 2457,48 kg.

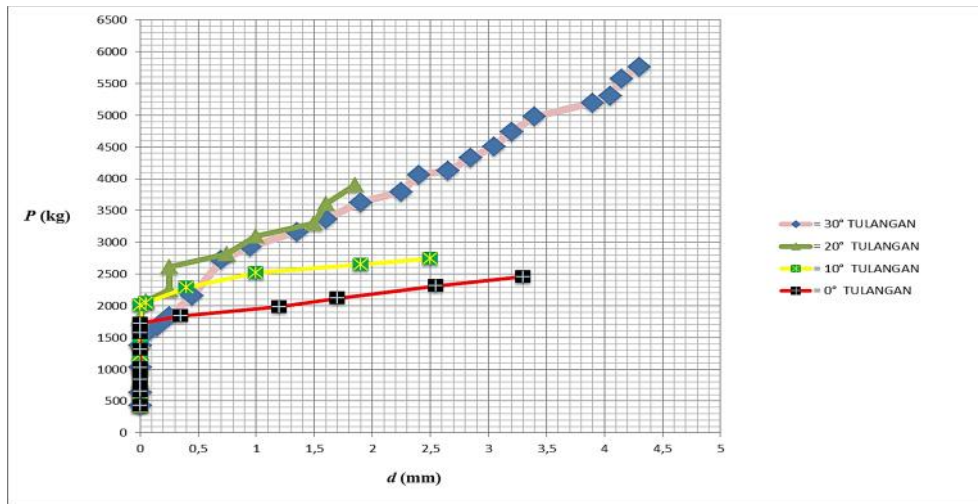
Pada grafik pelat beton bersirip kemiringan 10° dan 0° menghasilkan grafik yang jumlah kenaikan beban yang tidak signifikan besar terhadap deformasinya.

Tabel 2. Data uji pembebanan pada sampel pelat beton bersirip 0°, 10°, 20°, 30° dengan penambahan tulangan dan tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

No	0° T		10° T		20° T		30° T	
	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)
1	429,29	0	460,90	0	429,29	0	426,23	0
2	657,71	0	656,69	0	629,15	0	634,25	0
3	837,17	0	828,00	0	816,78	0	1032,96	0
4	1022,76	0	1047,23	0	1042,13	0	1374,56	0
5	1313,37	0	1224,66	0	1254,23	0	1561,16	0,05
6	1571,36	0	1440,84	0	1456,13	0	1677,41	0,15
7	1723,29	0	1664,15	0	1820,16	0	1836,48	0,25
8	1839,54	0,35	2006,77	0	2075,09	0,05	2154,63	0,45
9	1981,28	1,2	2044,50	0,05	2254,56	0,25	2722,60	0,7
10	2119,96	1,7	2285,15	0,4	2616,55	0,25	2929,60	0,95
11	2311,66	2,55	2516,62	1	2815,39	0,75	3162,09	1,35
12	2457,48	3,3	2653,26	1,9	3096,83	1	3368,07	1,6
13			2742,99	2,5	3297,71	1,5	3628,09	1,9
14					3601,58	1,6	3794,30	2,25
15					3899,33	1,85	4064,52	2,4
16							4121,63	2,65
17							4328,63	2,85
18							4507,07	3,05
19							4741,60	3,2
20							4979,20	3,4
21							5194,35	3,9
22							5302,44	4,05
23							5577,76	4,15
24							5764,36	4,3

Data dari beban nol sampai 1500 kg, deformasi nol sedangkan pada kondisi beban diatas 2000 kg, penambahan beban kecil tetapi pergerakan deformasi semakin besar sampai pelat mengalami keruntuhan.

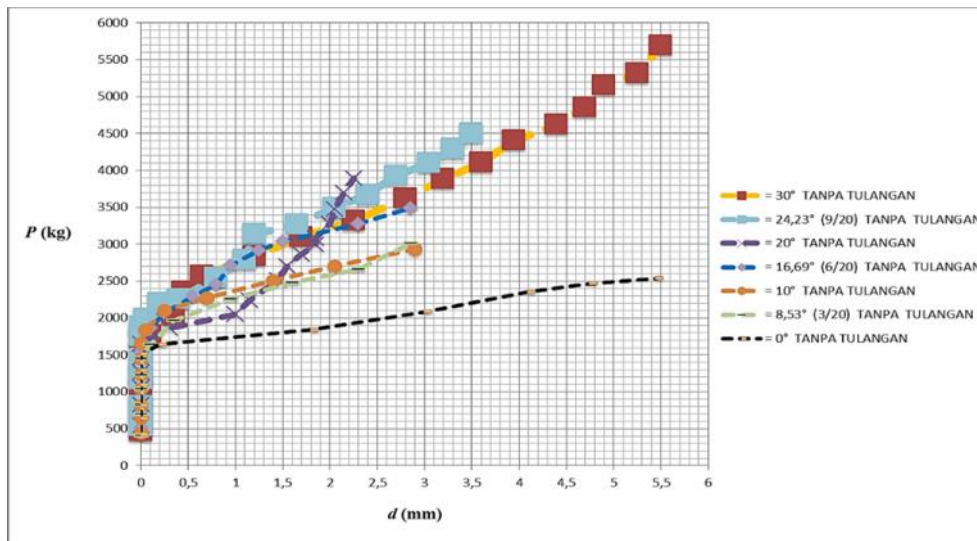
Perbandingan dari Gambar 4 yaitu beban maksimum (P_{maks}) terbesar terletak pada pelat beton bersirip tanpa tulangan kemiringan 30° sebesar 5694 kg sedangkan (P_{maks}) terkecil yaitu pelat beton bersirip kemiringan 0° sebesar 2540,07 kg.



Gambar 3. Grafik perbandingan beban terhadap deformasi pelat beton bersirip 0°, 10°, 20° dan 30° dengan penambahan tulangan diatas perletakan kaku.

Tabel 3. Data uji pembebanan pada sampel pelat beton bersirip 0°, 8,53°, 10°, 16,69°, 20°, 24,23°, 30° tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

No	0° TT		8,53° TT		10° TT		16,69° TT		20° TT		24,23° TT		30° TT	
	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)
1	426,23	0	408,90	0	437,45	0	521,07	0	542,48	0	538,40	0	470,08	0
2	639,35	0	695,44	0	643,43	0	715,83	0	830,04	0	805,56	0	736,22	0
3	818,82	0	826,98	0	819,84	0	1044,17	0	1053,35	0	1164,50	0	1020,72	0
4	1089,04	0	1040,09	0	1042,13	0	1256,27	0	1264,43	0	1451,03	0	1256,27	0
5	1290,94	0	1231,80	0	1226,70	0	1527,51	0	1463,27	0	1753,88	0	1550,96	0
6	1509,16	0	1451,03	0	1438,80	0	1652,93	0	1651,91	0	1889,50	0	1767,14	0,1
7	1643,76	0,2	1637,64	0,1	1658,03	0	1866,05	0,1	1859,93	0,3	1991,47	0,05	2043,48	0,35
8	1838,52	1,8	1961,90	0,35	1835,46	0,05	2064,89	0,25	2050,62	1	2202,55	0,2	2356,53	0,45
9	2085,29	3	2256,60	0,95	2105,68	0,25	2289,23	0,55	2244,36	1,15	2256,60	0,4	2573,72	0,65
10	2353,47	4,1	2479,91	1,6	2278,01	0,7	2455,44	0,8	2510,50	1,45	2550,27	0,8	2835,79	1,2
11	2467,67	4,75	2662,44	2,3	2505,40	1,4	2714,44	0,95	2706,28	1,55	2790,92	1,1	3100,91	1,7
12	2540,07	5,45	3008,11	2,85	2706,28	2,05	2918,38	1,25	2868,42	1,7	3138,64	1,2	3318,10	2,25
13					2931,64	2,9	3040,75	1,5	2994,86	1,85	3268,14	1,65	3620,95	2,8
14							3274,26	2,3	3080,51	1,85	3492,47	2,05	3883,02	3,2
15							3487,37	2,85	3278,34	2	3671,94	2,4	4106,33	3,6
16									3472,08	2,05	3930,94	2,7	4406,12	3,95
17									3698,45	2,15	4097,15	3,05	4622,30	4,4
18									3891,18	2,25	4296,00	3,3	4855,81	4,7
19											4498,92	3,5	5155,60	4,9
20													5316,72	5,25
21													5694,00	5,5



Gambar 4. Grafik perbandingan beban terhadap deformasi pelat beton bersirip 0°, 8,53°, 10°, 16,69°, 20°, 24,23°, 30° tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

Perbedaan terjadi pada grafik pelat beton bersirip kemiringan 20° yaitu beban besar namun deformasi kecil, sedangkan pelat beton bersirip kemiringan 0° menunjukkan perbandingan grafik beban terhadap deformasinya tidak sama dengan grafik pada pelat beton bersirip lainnya karena penambahan deformasi yang besar pada kondisi beban diatas 1500 kg sampai pelat mengalami keruntuhan.

Pelat beton bersirip kemiringan 10° dan 8,53° menunjukkan hasil pola persebaran grafik yang mendekati karena perbedaan jumlah beban dan deformasi cukup kecil. Kondisi berbeda terjadi pada grafik pelat beton bersirip kemiringan 30° dan 24,23° karena pada penurunan yang sama, beban yang dipikul pelat beton bersirip kemiringan 24,23° lebih besar daripada pelat beton bersirip kemiringan 30°.

Berdasarkan data lapangan, diperoleh tabel beban maksimum (P_{maks}) terhadap masing-masing pelat berdasarkan kemiringan sisi dalam sirip untuk sampel pelat dengan tulangan dan tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

Tabel 4. Beban maksimum (P_{maks}) pelat bersirip berdasarkan kemiringan sisi balam sirip pelat dengantulangan diatas perletakan kaku.

No	Sudut (°)	P_{maks} (kg)
1	0	2457,48
2	10	2742,99
3	20	3899,33
4	30	5764,36

Tabel 5. Beban maksimum (P_{maks}) pelat bersirip berdasarkan kemiringan sisi balam sirip pelat tanpatulangan diatas perletakan kaku.

No	Sudut (°)	P_{maks} (kg)
1	0	2540,07
2	8,53	3008,11
3	10	2931,64
4	16,69	3487,37
5	20	3891,18
6	24,23	4498,92
7	30	5694,00

Pada penelitian ini, diperoleh beban maksimum berdasarkan uji pembebanan di laboratorium diatas perletakan kaku menggunakan mesin UTM. Pelat beton dengan daya dukung optimum yaitu kemampuan pelat menerima beban maksimum (P_{maks}) terbesar sampai pelat retak dan mengalami keruntuhan.

1.5 Kekuatan dan Kekakuan Pelat

Kekuatan pelat dikontrol dari tegangan yang terjadi akibat beban, sedangkan kekakuan pelat dinilai dari besarnya lendutan yang dialami pelat. Adapun nilai tegangan dan lendutan yang dibandingkan diperoleh dengan bantuan program SAP2000, dari program ini tegangan yang digunakan adalah nilai terbesar dari S_{max} .

Mengacu pada pedoman SNI-03-2847-2002 halaman 63 ketentuan 14, tegangan maksimum pelat yang dihasilkan tidak boleh melebihi tegangan retak beton,

sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_{max} = 0,7 f'c \quad (1)$$

dimana:

S_{max} = tegangan retak maksimum pelat (kg/cm²)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

Dalam penelitian ini, mutu pelat beton setelah dilakukan uji kuat tekan menghasilkan $f'c$ sebesar 28 MPa.

Menurut SNI hasil $0,7 f'c$ dalam satuan MPa, yang kemudian diubah ke dalam kg/cm². Adapun persamaan 1 dapat diubah menjadi sebagai berikut:

$$S_{max} = 0,7 \cdot 28 \text{ MPa} = 3,704 \text{ MPa} \\ 36,34 \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

Simulasi sampel uji dibuat menggunakan program SAP2000 versi 14.2 dengan analisis model solid. Model dibuat pada

sampel tanpa tulangan dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 40 cm dan tinggi 20 cm serta ketebalan 2,5 cm. Kemudian grid dibagi dalam 2,5 cm untuk memudahkan pembagian elemen dan sampel pelat dengan kemiringan maka dilakukan pengeditan grid mengikuti kemiringan sampel sehingga terbentuk model yang diinginkan. Pada model tersebut, ditambahkan material beton pada menu define dengan mutu beton 28 MPa serta gaya pada nodal dengan penyesuaian ukuran bearing sebesar 15 x 15 cm yang digunakan pada uji lapangan. Gaya tersebut digabungkan dengan pembagian gaya 1 sebanyak 25 buah berada ditengah,

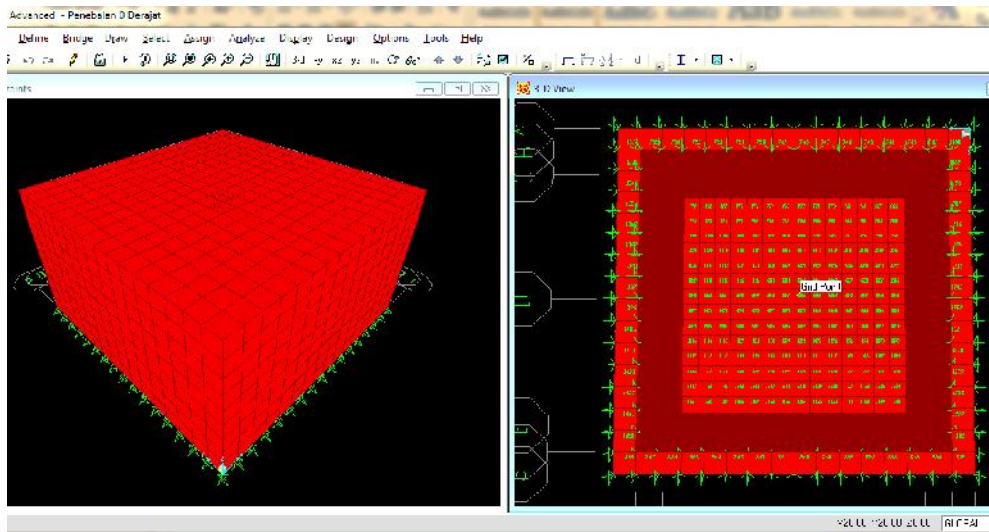
gaya $\frac{1}{2}$ sebanyak 20 buah berada dipinggir

dan gaya $\frac{1}{4}$ sebanyak 4 buah dipojok.

Setelah itu model simulasi di run untuk melihat hasil tegangan retak maksimum pada menu display, kemudian pilih S_{max} untuk melihat elemen solid yang mengalami retak pertama.

Tabel 6. Perbandingan beban terhadap tegangan retak maksimum hasil simulasi dengan program SAP2000 untuk pelat dengan kemiringan 0°.

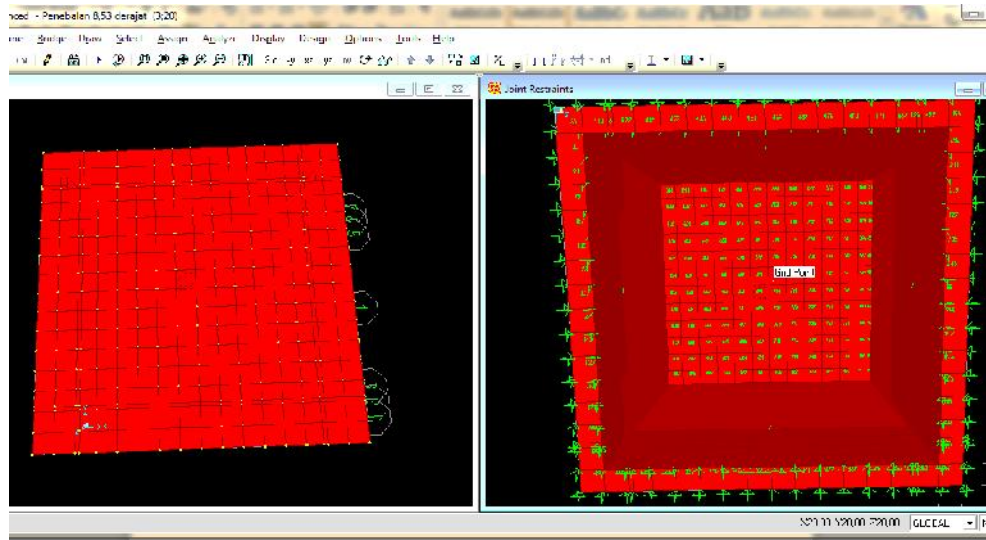
Beban (kg)	Tegangan Maksimum	Tegangan Izin Retak	Solid Label	Keterangan
	$S_{max} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\text{(kg/cm}^2\text{)}$		
416	36,35	36,34	1056	Retak
400	34,95	36,34	1056	Belum Retak
300	26,26	36,34	1056	Belum Retak
200	17,75	36,34	1056	Belum Retak
100	8,89	36,34	1056	Belum Retak



Gambar 5. Elemen yang mengalami retak pertama pada solid label 1056

Tabel 7. Perbandingan beban terhadap tegangan retak maksimum hasil simulasi dengan program SAP2000 untuk pelat dengan kemiringan 8,53°.

Beban (kg)	Tegangan Maksimum	Tegangan Izin Retak	Solid Label	Keterangan
	S_{max} (kg/cm ²)	(kg/cm ²)		
423	36,38	36,34	693	Retak
400	34,41	36,34	693	Belum Retak
300	25,85	36,34	693	Belum Retak
200	17,3	36,34	693	Belum Retak
100	8,79	36,34	813	Belum Retak



Gambar 6. Elemen yang mengalami retak pertama pada solid label 693

Tegangan izin retak beton yang disarankan SNI-03-2847-2002 yaitu 36,34 kg/cm², percobaan simulasi sampel pelat selanjutnya menghasilkan nilai tegangan maksimum yang melebihi tegangan izin retak beton dengan gaya yang di berikan sebesar 400 kg. Kondisi ini menyebabkan model berikutnya tidak diketahui besarnya beban maksimum yang diterapkan sehingga beton menjadi retak.

Selanjutnya dengan memberi gaya pada model sebesar 400 kg dan asumsi gaya yang diberikan dibawah gaya pada model pelat bersirip 0°, maka dapat diketahui elemen solid yang mengalami retak pertama dengan melihat tegangan maksimum yang terjadi pada model tersebut. Model pelat yang tegangan

maksimum melebihi tegangan izin retak beton terdapat pada sampel pelat dengan kemiringan 10°, 16,69°, 20°, 24,23°, dan 30°.

Beban maksimum yang menyebabkan retak pertama untuk pelat tanpa tulangan berdasarkan hasil model simulasi dan uji eksperimental pelat beton bersirip diatas perletakan kaku, diperoleh besarnya persentase pelat beton bersirip kemiringan

0° pada deformasi 0,01 mm yaitu $\frac{416}{1515,89} \times 100\% = 27,44\%$ dan pelat beton bersirip kemiringan 8,53° dengan

deformasi 0,009 mm sebesar $\frac{423}{1467,83} \times 100\% = 28,82\%$ serta persentase rata-rata dari pelat beton bersirip tanpa tulangan yaitu 28,13%.

SIMPULAN

Beberapakesimpulan yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Dengan penambahan penebalan pada sirip kemiringan sisi dalam, diperoleh data beban maksimum terbesar dari tes pembebanan terhadap pelat diatas perletakan kaku sebagai berikut :
 - Pelat beton bersirip kemiringan 30° dengan tulangan diperoleh beban maksimum (P_{maks}) adalah sebesar 5764,36 kg dan deformasi maksimum rata-rata 4,3 mm. Sedangkan pelat beton bersirip kemiringan 30° tanpa tulangan (P_{maks}) sebesar 5694 kg dan deformasi maksimum rata-rata 5,5 mm.
 - Pelat beton bertulang menghasilkan nilai beban maksimum terbesar terdapat pada sampel pelat beton kemiringan 30° dan 20° , sedangkan pelat beton tanpa bertulang menghasilkan nilai beban maksimum terbesar yaitu pada sampel pelat beton kemiringan 10° dan 0° .
2. Berdasarkan hasil model simulasi program SAP2000, beban maksimum retak pertama pada deformasi 0,01 mm untuk pelat beton bersirip tanpa tulangan kemiringan 0° sebesar 416 kg dan berdasarkan hasil uji eksperimental yaitu 1515,89 kg. Beban maksimum retak pertama hasil model simulasi program SAP2000

pada deformasi 0,009 mm untuk pelat beton bersirip tanpa tulangan kemiringan $8,53^\circ$ sebesar 423 kg dan berdasarkan hasil uji eksperimental yaitu 1467,83 kg.

3. Persentase perbandingan hasil model simulasi terhadap uji pembebanan pelat beton secara eksperimental untuk pelat beton bersirip kemiringan 0° yaitu 27,44% dan pelat beton bersirip kemiringan $8,53^\circ$ yaitu 28,82%.
4. Komposisi campuran untuk pelat beton bersirip dengan mutu 28 MPa yang direkomendasikan adalah:
 - Semen = 500 kg/m³
 - Pasir = 691,65 kg/m³
 - Kerikil = 845,75 kg/m³
 - Air = 250 kg/m³Dengan perbandingan semen : pasir : batu = 1 : 1,4 : 1,7.

Daftar Pustaka

- Agussariadi. 2011. "Skripsi Daya Dukung Pelat Beton Bersirip Sebagai Model Jalan Diatas Tanah Gambut Berdasarkan Panjang Sirip". Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Asiyanto. 2010. "Metode Konstruksi Proyek Jalan". Jakarta: Universitas Indonesia.
- Bachtiar, Vivi & Yusuf, M. 2010a. "Studi Tentang Penentuan Persyaratan Minimum untuk Konstruksi Jalan Beton (Rigid Pavement) di Atas Tanah Lunak

- dengan Cara Percobaan Pembebanan Langsung di Lapangan”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanungpura. Vol. 10(2) – Desember 2010, h.93-206.
- Das, B M. 1998. “Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)”. Surabaya: Erlangga.
- Harfedi, H. 2010. “Skripsi Tinjauan Prilaku Beban Versus Penurunan Pada Pelat Beton Berbentuk Persegi Panjang Diatas Tanah Gambut Dalam Fungsi Perbandingan Sisi Panjang Terhadap Sisi Pendek Berdasarkan Hasil Uji Pembebanan dan Program Komputer”. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Napitupulu, Harrys. 2006. “Kemajuan Perkerasan Beton di Indonesia”. Short Course HAKI: Perencanaan Rigid Pavement. 21 Juli 2006. Pontianak.
- Sitompul, Toni. 2009. “Pemakaian Elemen Grid Untuk Menentukan Lendutan Pada Balok”. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- Suryawan, Ari. 2009. “Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)”. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Yusuf, M. 2002. “Analisis Nonlinier Pelat Beton di atas Fondasi Elastis Nonlinier dengan Metode Elemen Hingga”. Jurnal Teknik Sipil ITB. Vol. 9(3) Juli 2002.
- Yusuf, M. 2003. “Teori Pertambahan Tegangan Metode Boussinesq Diterapkan pada Perhitungan Modulus Subgrade”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 3(2) – Des 2003, h.21-31.
- Yusuf, M. & Bachtiar, Vivi. 2006. “Uji Pembebanan Pelat Skala Kecil di Lapangan pada Tanah Lunak”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 6(1) – Juni 2006. h.83-96.
- Yusuf, M. 2008. “Kajian Numerik dan Eksperimental Perilaku Pelat Beton di Atas Tanah”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 8(2) – Desember 2008. h.123-140.
- Yusuf, M., dkk. 2009. “Studi Tentang Perilaku Pelat Beton di Atas Tanah Gambut untuk Pengembangan Jalan Beton di Pontianak”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 9(2) – Desember 2009. h.251-264.

- Yusuf, M. & Bachtiar, Vivi. 2012. “Studi Eksperimental Skala Kecil Tentang Daya Dukung Pelat Beton Bersirip Sebagai Model Jalan Beton di Tanah Gambut”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 12(1) – Juni 2012. H.1-12.
- Wahyudi, T. 2010. “Skripsi Tinjauan Prilaku Beban Versus Penurunan Pada Pelat Beton Berbentuk Persegi Panjang Diatas Tanah Gambut Dalam Fungsi Tebal Pelat Beton Berdasarkan Hasil Uji Pembebanan dan Program Komputer”. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Wang, Chu-Kia. 1989. “Disain Beton Bertulang”. Jakarta: Erlangga.
- www.ilmusipil.com/perbandingan-jalan-beton-dan-aspal. Diakses pada 4 April 2016
- www.fadlyfauzie.wordpress.com/2012/03/02/perbaikan-tanah-soil-improvement. Diakses pada 16 Mei 2016.
- www.duniatekniksipil.web.id/411/desain-balok-beton-bertulang-5. Diakses pada 5 Juli 2017.

UJI KEKUATAN JALAN BETON BERSIRIP YANG DIPERKAKU DENGAN CARA PENEBALAN PADA BAGIAN SIRIP

Jumadi¹⁾ M. Yusuf²⁾: Vivi Bachtiar,²

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian secara eksperimental. Pengujian dilakukan dengan cara uji pembebanan terhadap pelat beton bersirip diatas perletakan kaku dengan ukuran skala laboratorium yaitu 40 x 40 x 20 cm dengan ketebalan 2,5 cm. Benda uji terdiri menjadi dua kelompok, yaitu 4 pelat beton bersirip dengan tulangan dan 7 tanpa tulangan. Penambahan penebalan pada sirip dilakukan dengan penebalan sisi dalam sebesar 0°, 8,53°, 10°, 16,69°, 20°, 24,23° dan 30°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan penebalan pada sirip pelat beton dapat meningkatkan daya dukung pelat. Beban maksimum berdasarkan uji eksperimental pelat beton dengan tulangan kemiringan 30°, yaitu 5764,36 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 30° sebesar 5694 kg. Pelat beton dengan tulangan kemiringan 20° yaitu 3899,33 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 20° sebesar 3891,18 kg. Pelat beton dengan tulangan kemiringan 10° yaitu 2742,99 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 10° sebesar 2931,64 kg. Pelat beton dengan tulangan kemiringan 0° yaitu 2457,48 kg dan pelat beton tanpa tulangan kemiringan 0° sebesar 2540,07 kg. Pelat beton tanpa tulangan kemiringan 24,23° yaitu 4498,92 kg, 16,69° sebesar 3487,37 kg dan 8,53° sebesar 3008,11 kg. Beban maksimum berdasarkan model simulasi pelat beton dengan program SAP2000 kemiringan 0°, yaitu 416 kg dan kemiringan 0°, sebesar 423 kg. Perbandingan rata-rata daya dukung pelat beton bersirip berdasarkan model simulasi dan uji eksperimental adalah sebesar 28,13%.

Kata-kata kunci: Perkerasan jalan beton, pelat beton bersirip, pelat dengan penebalan pada bagian sirip

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur jalan dan sarana pendukung lainnya menjadi indikator perkembangan pembangunan di suatu kota, karena jalan yang baik dapat memperlancar arus distribusi barang dan jasa antar wilayah. Pembangunan infrastruktur jalan yang baik dapat meningkatkan kenyamanan pengemudi di jalan raya, disamping itu dapat juga mengurangi angka kecelakaan di jalan

akibat jalan bergelombang dan berlubang yang sering terjadi di wilayah Kalimantan Barat khususnya kota Pontianak.

Umumnya jalan yang sudah dibangun pada beberapa tahun terakhir adalah jalan beton di atas permukaan tanah gambut maupun tanah lempung yang ada di kota Pontianak, namun kerusakan pada jalan tersebut yaitu retak pada bagian perkerasan karena adanya penurunan. Jalan beton yang ada sekarang tanpa menggunakan tulangan sehingga jalan

1) Alumni Prodi Teknik Sipil FT Untan

2) Dosen Prodi Teknik Sipil FT Untan

tersebut harus mempunyai ketebalan yang besar untuk menghindari perkerasan tersebut patah akibat tarik pada bagian sisi bawah beton karena permukaan perkerasan yang tipis.

Jalan beton dengan ketebalan yang besar menimbulkan beban yang besar, disamping itu daya dukung tanah gambut atau lempung yang ada sangat rendah sehingga terjadi penurunan tanah dasar akibat beban perkerasan jalan tersebut. Pada beberapa kawasan di Pontianak dan sekitarnya banyak terdapat jalan dengan perkerasan beton yang retak dan bergelombang, hal ini menunjukkan masih ada kekeliruan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur jalan khususnya perencanaan jalan beton pada permukaan tanah dasar dengan daya dukung rendah.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, tinjauan yang akan dilakukan yaitu penebalan pada bagian sambungan antara pelat dan sirip. Fungsi penebalan tersebut yaitu untuk mengurangi patah pada sambungan antara pelat dan sirip karena secara ilmu mekanika teknik daerah sambungan merupakan daerah dengan gaya lintang terbesar sehingga diperkuat dengan cara penebalan pada sambungan.

Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton sendiri (Ari Suryawan, 2009). Perkerasan kaku (rigid pavement) adalah perkerasan

yang menggunakan bahan beton, yang sifatnya kaku. Perkerasan kaku berupa pelat beton dengan atau tanpa tulangan diatas tanah dasar dengan atau tanpa fondasi bawah dan beban lalu lintas diteruskan keatas pelat beton (Asiyanto, 2010).

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini yaitu mendapatkan model dengan daya dukung optimum dengan variasi penebalan pada bagian sirip. Penelitian ini dirancang menghindari jalan beton yang retak dan bergelombang pada jalan sehingga sirip berfungsi untuk mengurangi tekanan tanah horisontal akibat beban vertikal kendaraan.

Hasil penelitian ini penting dilakukan untuk kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil dan dapat menjadi alternatif dalam perencanaan pembangunan infrastruktur jalan di daerah tanah gambut atau lempung di kota Pontianak dan sekitar.

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Kuat tekan rencana yang dirancang dalam perancangan campuran beton adalah sebesar 28 MPa sesuai peraturan SNI 03-2834-2000.
- 2) Pelat beton diberi variasi sudut pada sirip dan pelat menggunakan kemiringan 0° , $8,53^\circ$ (3/20) cm, 10° , $16,69^\circ$ (6/20) cm, 20° , $24,23^\circ$ (9/20) cm dan 30° .
- 3) Jumlah sampel sebanyak 11 buah terdiri dari 4 sampel (0° , 10° , 20° , dan 30°) menggunakan tulangan

diameter 4 mm dan 7 sampel (0° , $8,53^\circ$, 10° , $16,69^\circ$, 20° , $24,23^\circ$ dan 30°) tanpa menggunakan tulangan serta dilakukan uji pembebanan terhadap pelat beton menggunakan Universal Testing Machine.

- 4) Penelitian dilakukan di laboratorium bahan dan struktur fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, dimana pelat beton berukuran $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$, dengan tebal 2,5 cm.
- 5) Tinggi sirip sebesar 20 cm yaitu 50% dari lebar pelat. Tebal sirip sama dengan tebal pelat beton yaitu 2,5 cm.
- 6) Hasil model simulasi dengan aplikasi SAP2000 sebagai pembanding data pelat dari hasil percobaan di laboratorium.
- 7) Model pelat yang ditinjau tidak bisa dianalisis secara langsung dengan rumus mekanika sederhana sehingga menggunakan analisis metode elemen solid pada software SAP2000 versi 14.2.

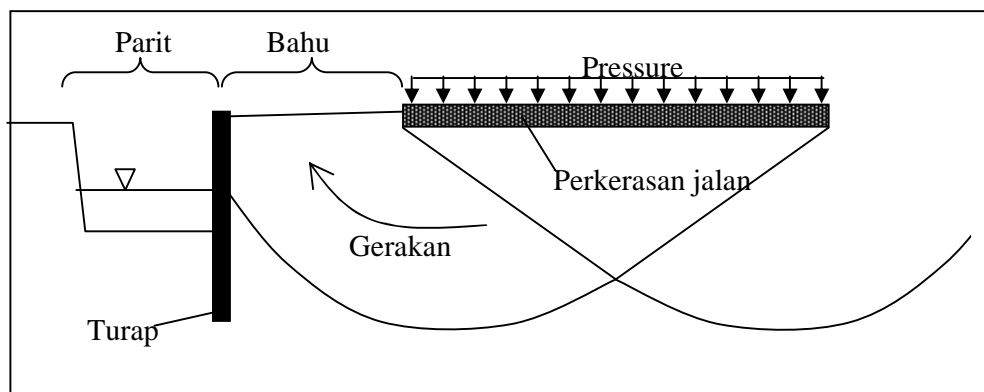
- 8) Jarak antar tulangan menggunakan pendekatan perhitungan jarak tulangan pada pelat lantai dengan menggunakan minimum.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan model pelat beton dengan daya dukung struktur yang optimum perkerasan jalan beton dengan penambahan penebalan pada bagian sirip.

KONSEP DASAR

Saluran drainasi (parit) yang besar di beberapa jalan di Kota Pontianak dan sekitarnya umumnya telah pula diperkuat dengan barau/turap dari kayu belian ataupun dari beton bertulang. Akan tetapi, penurunan pada badan jalan masih terjadi sehingga jalan bergelombang. Penyebab terjadinya fenomena tersebut adalah karena tekanan perkerasan jalan pada tanah fondasinya menyebabkan tanah di bahu jalan menjadi naik seperti diilustrasikan pada Gambar 1.

Selain itu, akibat koefisien elastik sifat fisis (rasio Poisson) tanah maka tekanan



Gambar 1. Sistem Konstruksi Jalan Konvensional di Kota Pontianak

vertikal dari kendaraan pada perkerasan jalan menyebabkan timbulnya gaya arah horisontal pada tanah di bawah perkerasan sehingga tanah bergerak ke arah horisontal. Perkerasan yang ada saat ini belum menggunakan sistem perkerasan yang mampu menahan tekanan horisontal tanah akibat beban kendaraan yang melintas di atas jalan tersebut.

Sirip-sirip yang terdapat pada model struktur perkerasan jalan beton yang diajukan dalam penelitian ini, dapat pula berfungsi sebagai penahan gaya horisontal tersebut dan mencegah tanah dasar bergerak ke arah horisontal.

STRUKTUR PERKERASAN JALAN BETON

Perkerasan kaku (rigid pavement) adalah perkerasan yang menggunakan bahan beton, yang sifatnya kaku. Perkerasan kaku berupa pelat beton dengan atau tanpa tulangan di atas tanah dasar dengan atau tanpa fondasi bawah dan beban lalu lintas diteruskan ke atas pelat beton. Perkerasan kaku bisa dikelompokkan atas:

- 1) Lapisan tanah dasar. Perkerasan kaku semen yang terbuat dari beton semen baik yang bertulang ataupun tanpa tulangan.
- 2) Perkerasan kaku komposit yang terbuat dari komposit sehingga lebih kuat dari perkerasan semen.
- 3) Kelebihan jalan beton (Asiyanto, 2010) adalah sebagai berikut:
- 4) Dapat menahan beban kendaraan yang berat.

- 5) Tahan terhadap genangan air dan banjir.
- 6) Biaya perawatan lebih murah dibanding jalan aspal.
- 7) Dapat digunakan pada struktur tanah lemah tanpa perbaikan struktur tanahnya terlebih dahulu.
- 8) Material lebih mudah didapat.
- 9) Umur rencana dapat mencapai 20 tahun.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi atas dua tinjauan yaitu:

- a) Tinjauan Sampel yang ditinjau adalah pelat beton tanpa tulangan yang diberi penebalan pada sirip yaitu (3/20) cm, (6/20) cm dan (9/20) cm kemudian diuji dengan pembebanan berjumlah 3 buah.

Tinjauan ini bertujuan untuk mendapatkan model pelat beton dengan daya dukung optimum dengan perbandingan sisi dalam sirip pelat berdasarkan perbandingan ukuran dalam cm.

- b) Sampel yang ditinjau adalah pelat beton dengan tulangan dan tanpa tulangan yang diberi penebalan pada sirip yaitu 0°, 10°, 20° dan 30° serta kemudian diuji dengan pembebanan langsung berjumlah 8 buah.

Tinjauan ini bertujuan untuk mendapatkan model pelat beton dengan daya dukung optimum dengan

perbandingan sisi dalam sirip pelat berdasarkan perbandingan ukuran dalam °.

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode pengamatan langsung. Data yang diperoleh merupakan data primer berupa data kuat tekan beton, data hasil uji pembebanan pelat.

1.1 Rancangan Penelitian

Untuk menentukan daya dukung pelat yaitu dengan memplotkan data hasil penelitian kedalam grafik garis perbandingan beban terhadap penurunan pada program Microsoft Excel 2010, kemudian hasil dari grafik tersebut dibandingkan dengan hasil grafik sampel lainnya untuk mendapatkan hasil daya dukung optimum pada pelat bersirip dengan tulangan dan tanpa tulangan..

Prinsip pelaksanaan percobaan ini adalah, beban terpusat diterapkan secara statik dan terus menerus pada pelat hingga pelat mengalami keruntuhan, hasilnya digambarkan dalam bentuk perbandingan grafik beban terhadap deformasi pelat beton bersirip diatas perletakan kaku.

1.2 Uji Pembebanan Pelat

Analisis kekuatan beton ini merupakan kegiatan analisis data yang dilakukan sebagai kontrol terhadap mutu atau karakteristik beton yang direncanakan, sehingga diketahui apakah perbandingan dari material yang digunakan menghasilkan mutu yang sesuai dengan yang diinginkan. Dimensi benda uji silinder yang diuji ialah diameter 15 cm

dan tinggi 30 cm dengan kuat tekan beton 28 MPa.

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan terlebih dahulu menimbang berat benda uji. Setelah itu, meletakkan benda uji pada mesin uji tekan dan dilakukan proses pemberian beban sampai benda uji mencapai beban maksimum dan proses pembebanan dihentikan.

Perencanaan kuat beton normal yang direncanakan yaitu 28 MPa. Hasil dari perhitungan rancangan kebutuhan campuran beton berdasarkan metode SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal sebagai berikut:

Komposisi campuran benda uji /m³:
Semen =500 kg/m³
Agregat Halus (Pasir) =691,65kg/m³
Agregat Kasar (Batu) =845,75 kg/m³
Air = 250 kg/m³

Bahan-bahan yang diperlukan dalam percobaan ini adalah:

- 1) semen, pasir, batu 0,5 cm untuk membuat adukan beton.
- 2) multipleks 5 mm dan kayu reng untuk bekisting.
- 3) bak pelat baja.
- 4) tulangan baja Ø 4 mm.
- 5) plastik cor.
- 6) kawat beton.
- 7) paku.

Alat-alat yang digunakan antara lain:

- 1) seperangkat alat tukang.
- 2) seperangkat alat pengaduk beton.
- 3) gerobak dorong.
- 4) staples.
- 5) gunting.
- 6) universal testing machine.
- 7) alat tulis.
- 8) dial gauge 5 cm
- 9) ember plastik.
- 10) sarung tangan.
- 11) geget atau tang.

Uji Setelah pelat beton mencapai kekuatannya (umur 28 hari), maka dilakukan tes pembebanan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Letakan pelat beton di mesin UTM (Universal Testing Machine).
- 2) Terapkan beban pada pelat hingga pelat mengalami retak pertama.

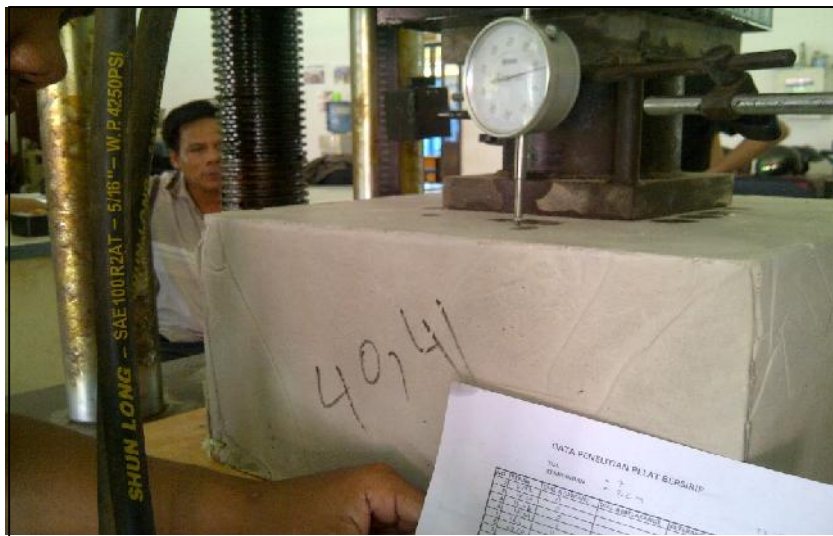
- 3) Catat daya dukung pelat.
- 4) Ulangi dari langkah (1) pada variasi model pelat yang lain.

Bentuk uji pembebanan pelat dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.3 Data Uji Tekan Beton Silinder

Setelah 1 hari beton dilepaskan dari cetakan dan direndam di bak air, sehari sebelum tes tekan beton 28 hari maka beton di angkat dan bagian atas beton dilapisi dengan sulfur. Sampel silinder beton di uji tes tekan beton menggunakan mesin UTM sampai beton mengalami retak. Selanjutnya hasil kuat tekan beton tersebut menjadi acuan



Gambar 2. Gambar uji pembebanan pelat beton bersirip

untuk membuat campuran adukan pelat beton bersirip.

1.4 Perbandingan Beban Terhadap Deformasi Berdasarkan Data

Pelat beton bersirip kemiringan 20° menghasilkan grafik dengan beban yang besar namun deformasi kecil, pada deformasi 1,6 mm beban yang mampu dipikul pelat beton yaitu 3601,58 kg sedangkan pada deformasi yang sama,

Tabel 1. Hasil uji tes beton silinder mutu 28 MPa setelah 28 hari

No. Benda Uji	Massa (kg)	Kuat Tekan (kN)	Luas Silinder (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	11,51	530,22	176,625	30,02
2	11,96	474,92	176,625	26,89
3	11,61	512,65	176,625	29,02
Rata-rata				28,64

Eksperimental

Dalam penelitian ini, pembebanan secara langsung (Loading Test) dilakukan terhadap pelat dengan variasi kemiringan pada sirip yaitu 0°, 10°, 20°, 30° dengan penambahan tulangan dan tanpa tulangan serta variasi kemiringan sirip 8,53° (3/20) cm, 16,69° (6/20) cm, 24,23° (9/20) cm tanpa tulangan.

Perbandingan yang didapat dari Gambar 3 yaitu semakin besar penambahan penebalan pada pelat beton bersirip dengan tulangan maka beban maksimum (P_{maks}) yang dihasilkan semakin besar pula. Pelat beton bersirip kemiringan 30° menunjukkan grafik yang beban sebanding dengan deformasinya, yaitu penambahan beban secara terus menerus menghasilkan deformasi yang semakin besar.

pelat beton bersirip kemiringan 30° memikul beban sebesar 3368,07 kg. Beban maksimum (P_{maks}) terletak pada pelat beton bersirip kemiringan 30° yaitu 55764,36 kg, pelat beton bersirip kemiringan 20° sebesar 3899,33 kg, pelat beton bersirip kemiringan 10° sebesar 2742,99 kg dan pelat beton bersirip kemiringan 0° sebesar 2457,48 kg.

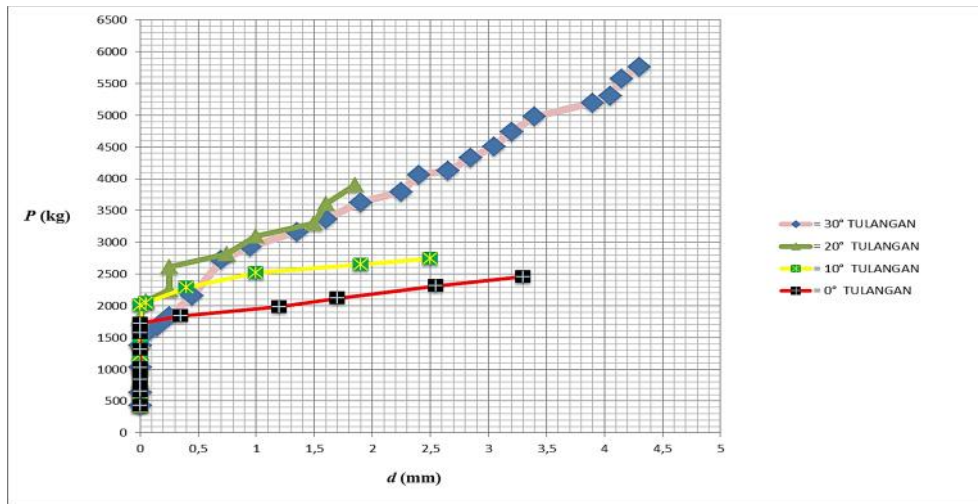
Pada grafik pelat beton bersirip kemiringan 10° dan 0° menghasilkan grafik yang jumlah kenaikan beban yang tidak signifikan besar terhadap deformasinya.

Tabel 2. Data uji pembebanan pada sampel pelat beton bersirip 0°, 10°, 20°, 30° dengan penambahan tulangan dan tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

No	0° T		10° T		20° T		30° T	
	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)
1	429,29	0	460,90	0	429,29	0	426,23	0
2	657,71	0	656,69	0	629,15	0	634,25	0
3	837,17	0	828,00	0	816,78	0	1032,96	0
4	1022,76	0	1047,23	0	1042,13	0	1374,56	0
5	1313,37	0	1224,66	0	1254,23	0	1561,16	0,05
6	1571,36	0	1440,84	0	1456,13	0	1677,41	0,15
7	1723,29	0	1664,15	0	1820,16	0	1836,48	0,25
8	1839,54	0,35	2006,77	0	2075,09	0,05	2154,63	0,45
9	1981,28	1,2	2044,50	0,05	2254,56	0,25	2722,60	0,7
10	2119,96	1,7	2285,15	0,4	2616,55	0,25	2929,60	0,95
11	2311,66	2,55	2516,62	1	2815,39	0,75	3162,09	1,35
12	2457,48	3,3	2653,26	1,9	3096,83	1	3368,07	1,6
13			2742,99	2,5	3297,71	1,5	3628,09	1,9
14					3601,58	1,6	3794,30	2,25
15					3899,33	1,85	4064,52	2,4
16							4121,63	2,65
17							4328,63	2,85
18							4507,07	3,05
19							4741,60	3,2
20							4979,20	3,4
21							5194,35	3,9
22							5302,44	4,05
23							5577,76	4,15
24							5764,36	4,3

Data dari beban nol sampai 1500 kg, deformasi nol sedangkan pada kondisi beban diatas 2000 kg, penambahan beban kecil tetapi pergerakan deformasi semakin besar sampai pelat mengalami keruntuhan.

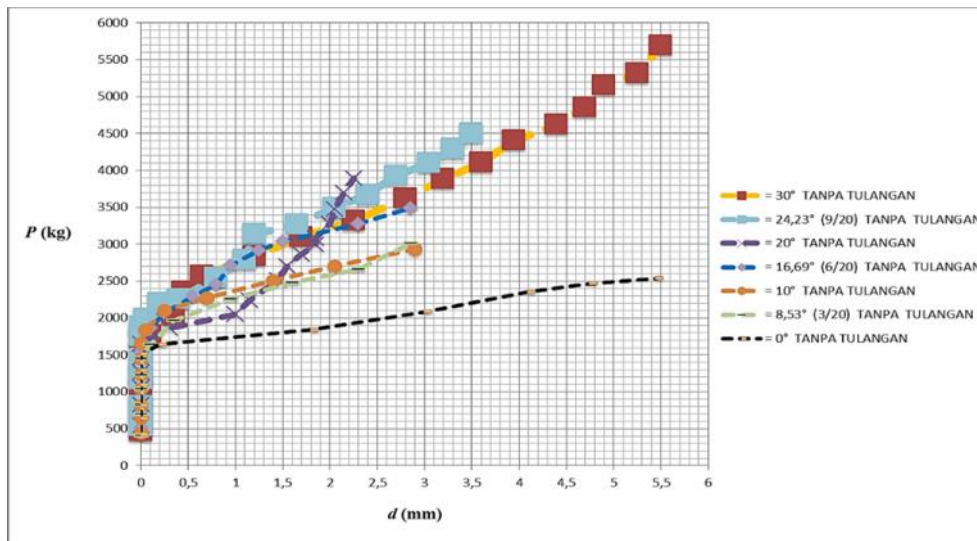
Perbandingan dari Gambar 4 yaitu beban maksimum (P_{maks}) terbesar terletak pada pelat beton bersirip tanpa tulangan kemiringan 30° sebesar 5694 kg sedangkan (P_{maks}) terkecil yaitu pelat beton bersirip kemiringan 0° sebesar 2540,07 kg.



Gambar 3. Grafik perbandingan beban terhadap deformasi pelat beton bersirip 0°, 10°, 20° dan 30° dengan penambahan tulangan diatas perletakan kaku.

Tabel 3. Data uji pembebanan pada sampel pelat beton bersirip 0°, 8,53°, 10°, 16,69°, 20°, 24,23°, 30° tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

No	0° TT		8,53° TT		10° TT		16,69° TT		20° TT		24,23° TT		30° TT	
	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)
1	426,23	0	408,90	0	437,45	0	521,07	0	542,48	0	538,40	0	470,08	0
2	639,35	0	695,44	0	643,43	0	715,83	0	830,04	0	805,56	0	736,22	0
3	818,82	0	826,98	0	819,84	0	1044,17	0	1053,35	0	1164,50	0	1020,72	0
4	1089,04	0	1040,09	0	1042,13	0	1256,27	0	1264,43	0	1451,03	0	1256,27	0
5	1290,94	0	1231,80	0	1226,70	0	1527,51	0	1463,27	0	1753,88	0	1550,96	0
6	1509,16	0	1451,03	0	1438,80	0	1652,93	0	1651,91	0	1889,50	0	1767,14	0,1
7	1643,76	0,2	1637,64	0,1	1658,03	0	1866,05	0,1	1859,93	0,3	1991,47	0,05	2043,48	0,35
8	1838,52	1,8	1961,90	0,35	1835,46	0,05	2064,89	0,25	2050,62	1	2202,55	0,2	2356,53	0,45
9	2085,29	3	2256,60	0,95	2105,68	0,25	2289,23	0,55	2244,36	1,15	2256,60	0,4	2573,72	0,65
10	2353,47	4,1	2479,91	1,6	2278,01	0,7	2455,44	0,8	2510,50	1,45	2550,27	0,8	2835,79	1,2
11	2467,67	4,75	2662,44	2,3	2505,40	1,4	2714,44	0,95	2706,28	1,55	2790,92	1,1	3100,91	1,7
12	2540,07	5,45	3008,11	2,85	2706,28	2,05	2918,38	1,25	2868,42	1,7	3138,64	1,2	3318,10	2,25
13					2931,64	2,9	3040,75	1,5	2994,86	1,85	3268,14	1,65	3620,95	2,8
14							3274,26	2,3	3080,51	1,85	3492,47	2,05	3883,02	3,2
15							3487,37	2,85	3278,34	2	3671,94	2,4	4106,33	3,6
16									3472,08	2,05	3930,94	2,7	4406,12	3,95
17									3698,45	2,15	4097,15	3,05	4622,30	4,4
18									3891,18	2,25	4296,00	3,3	4855,81	4,7
19											4498,92	3,5	5155,60	4,9
20													5316,72	5,25
21													5694,00	5,5



Gambar 4. Grafik perbandingan beban terhadap deformasi pelat beton bersirip 0°, 8,53°, 10°, 16,69°, 20°, 24,23°, 30° tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

Perbedaan terjadi pada grafik pelat beton bersirip kemiringan 20° yaitu beban besar namun deformasi kecil, sedangkan pelat beton bersirip kemiringan 0° menunjukkan perbandingan grafik beban terhadap deformasinya tidak sama dengan grafik pada pelat beton bersirip lainnya karena penambahan deformasi yang besar pada kondisi beban diatas 1500 kg sampai pelat mengalami keruntuhan.

Pelat beton bersirip kemiringan 10° dan 8,53° menunjukkan hasil pola persebaran grafik yang mendekati karena perbedaan jumlah beban dan deformasi cukup kecil. Kondisi berbeda terjadi pada grafik pelat beton bersirip kemiringan 30° dan 24,23° karena pada penurunan yang sama, beban yang dipikul pelat beton bersirip kemiringan 24,23° lebih besar daripada pelat beton bersirip kemiringan 30°.

Berdasarkan data lapangan, diperoleh tabel beban maksimum (P_{maks}) terhadap masing-masing pelat berdasarkan kemiringan sisi dalam sirip untuk sampel pelat dengan tulangan dan tanpa tulangan diatas perletakan kaku.

Tabel 4. Beban maksimum (P_{maks}) pelat bersirip berdasarkan kemiringan sisi balam sirip pelat dengantulangan diatas perletakan kaku.

No	Sudut (°)	P_{maks} (kg)
1	0	2457,48
2	10	2742,99
3	20	3899,33
4	30	5764,36

Tabel 5. Beban maksimum (P_{maks}) pelat bersirip berdasarkan kemiringan sisi balam sirip pelat tanpatulangan diatas perletakan kaku.

No	Sudut (°)	P_{maks} (kg)
1	0	2540,07
2	8,53	3008,11
3	10	2931,64
4	16,69	3487,37
5	20	3891,18
6	24,23	4498,92
7	30	5694,00

Pada penelitian ini, diperoleh beban maksimum berdasarkan uji pembebanan di laboratorium diatas perletakan kaku menggunakan mesin UTM. Pelat beton dengan daya dukung optimum yaitu kemampuan pelat menerima beban maksimum (P_{maks}) terbesar sampai pelat retak dan mengalami keruntuhan.

1.5 Kekuatan dan Kekakuan Pelat

Kekuatan pelat dikontrol dari tegangan yang terjadi akibat beban, sedangkan kekakuan pelat dinilai dari besarnya lendutan yang dialami pelat. Adapun nilai tegangan dan lendutan yang dibandingkan diperoleh dengan bantuan program SAP2000, dari program ini tegangan yang digunakan adalah nilai terbesar dari S_{max} .

Mengacu pada pedoman SNI-03-2847-2002 halaman 63 ketentuan 14, tegangan maksimum pelat yang dihasilkan tidak boleh melebihi tegangan retak beton,

sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_{max} = 0,7 f'c \quad (1)$$

dimana:

S_{max} = tegangan retak maksimum pelat (kg/cm²)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

Dalam penelitian ini, mutu pelat beton setelah dilakukan uji kuat tekan menghasilkan $f'c$ sebesar 28 MPa.

Menurut SNI hasil $0,7 f'c$ dalam satuan MPa, yang kemudian diubah ke dalam kg/cm². Adapun persamaan 1 dapat diubah menjadi sebagai berikut:

$$S_{max} = 0,7 \cdot 28 \text{ MPa} = 3,704 \text{ MPa} \\ 36,34 \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

Simulasi sampel uji dibuat menggunakan program SAP2000 versi 14.2 dengan analisis model solid. Model dibuat pada

sampel tanpa tulangan dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 40 cm dan tinggi 20 cm serta ketebalan 2,5 cm. Kemudian grid dibagi dalam 2,5 cm untuk memudahkan pembagian elemen dan sampel pelat dengan kemiringan maka dilakukan pengeditan grid mengikuti kemiringan sampel sehingga terbentuk model yang diinginkan. Pada model tersebut, ditambahkan material beton pada menu define dengan mutu beton 28 MPa serta gaya pada nodal dengan penyesuaian ukuran bearing sebesar 15 x 15 cm yang digunakan pada uji lapangan. Gaya tersebut digabungkan dengan pembagian gaya 1 sebanyak 25 buah berada ditengah,

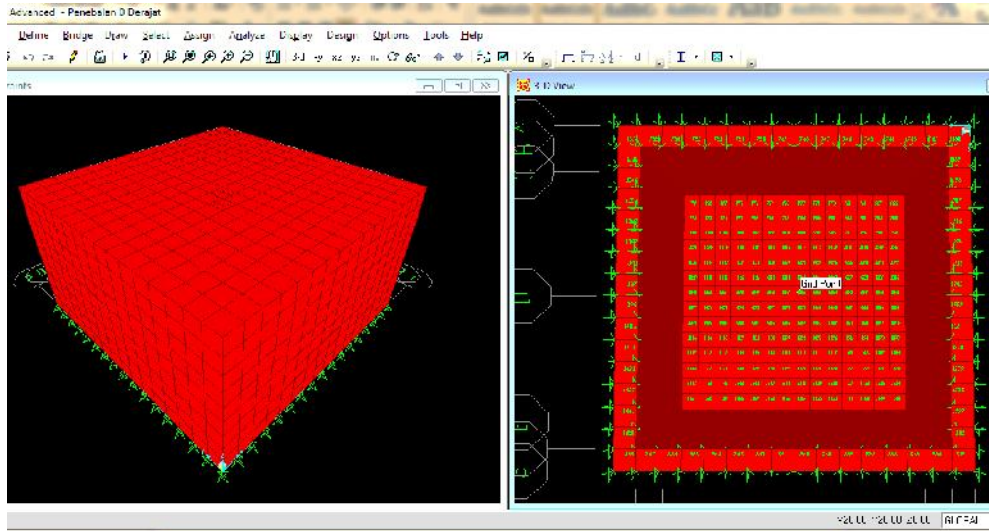
gaya $\frac{1}{2}$ sebanyak 20 buah berada dipinggir

dan gaya $\frac{1}{4}$ sebanyak 4 buah dipojok.

Setelah itu model simulasi di run untuk melihat hasil tegangan retak maksimum pada menu display, kemudian pilih S_{max} untuk melihat elemen solid yang mengalami retak pertama.

Tabel 6. Perbandingan beban terhadap tegangan retak maksimum hasil simulasi dengan program SAP2000 untuk pelat dengan kemiringan 0°.

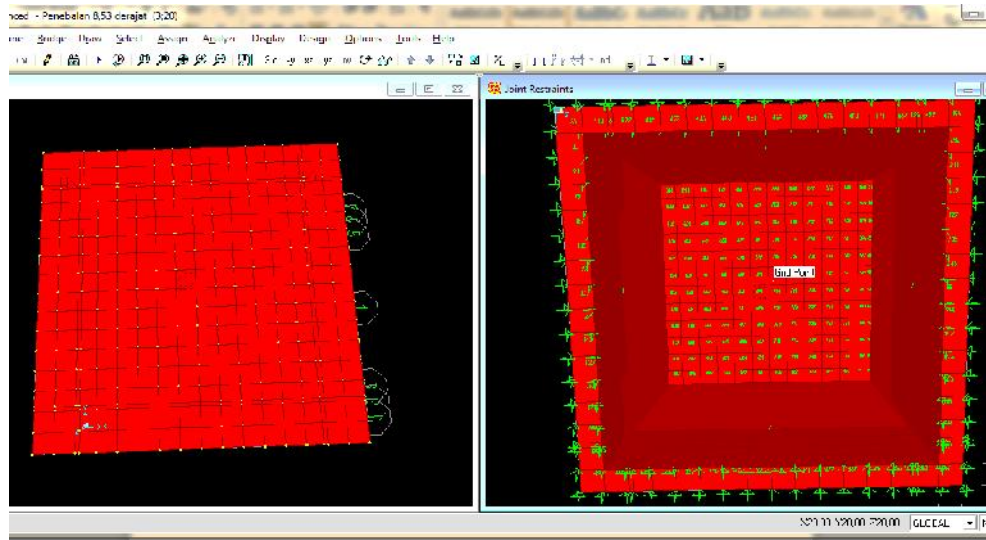
Beban (kg)	Tegangan Maksimum	Tegangan Izin Retak	Solid Label	Keterangan
	S_{max} (kg/cm ²)	(kg/cm ²)		
416	36,35	36,34	1056	Retak
400	34,95	36,34	1056	Belum Retak
300	26,26	36,34	1056	Belum Retak
200	17,75	36,34	1056	Belum Retak
100	8,89	36,34	1056	Belum Retak



Gambar 5. Elemen yang mengalami retak pertama pada solid label 1056

Tabel 7. Perbandingan beban terhadap tegangan retak maksimum hasil simulasi dengan program SAP2000 untuk pelat dengan kemiringan 8,53°.

Beban (kg)	Tegangan Maksimum	Tegangan Izin Retak	Solid Label	Keterangan
	S_{max} (kg/cm ²)	(kg/cm ²)		
423	36,38	36,34	693	Retak
400	34,41	36,34	693	Belum Retak
300	25,85	36,34	693	Belum Retak
200	17,3	36,34	693	Belum Retak
100	8,79	36,34	813	Belum Retak



Gambar 6. Elemen yang mengalami retak pertama pada solid label 693

Tegangan izin retak beton yang disarankan SNI-03-2847-2002 yaitu 36,34 kg/cm², percobaan simulasi sampel pelat selanjutnya menghasilkan nilai tegangan maksimum yang melebihi tegangan izin retak beton dengan gaya yang di berikan sebesar 400 kg. Kondisi ini menyebabkan model berikutnya tidak diketahui besarnya beban maksimum yang diterapkan sehingga beton menjadi retak.

Selanjutnya dengan memberi gaya pada model sebesar 400 kg dan asumsi gaya yang diberikan dibawah gaya pada model pelat bersirip 0°, maka dapat diketahui elemen solid yang mengalami retak pertama dengan melihat tegangan maksimum yang terjadi pada model tersebut. Model pelat yang tegangan

maksimum melebihi tegangan izin retak beton terdapat pada sampel pelat dengan kemiringan 10°, 16,69°, 20°, 24,23°, dan 30°.

Beban maksimum yang menyebabkan retak pertama untuk pelat tanpa tulangan berdasarkan hasil model simulasi dan uji eksperimental pelat beton bersirip diatas perletakan kaku, diperoleh besarnya persentase pelat beton bersirip kemiringan

0° pada deformasi 0,01 mm yaitu $\frac{416}{1515,89} \times 100\% = 27,44\%$ dan pelat beton bersirip kemiringan 8,53° dengan

deformasi 0,009 mm sebesar $\frac{423}{1467,83} \times 100\% = 28,82\%$ serta persentase rata-rata dari pelat beton bersirip tanpa tulangan yaitu 28,13%.

SIMPULAN

Beberapakesimpulan yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Dengan penambahan penebalan pada sirip kemiringan sisi dalam, diperoleh data beban maksimum terbesar dari tes pembebanan terhadap pelat diatas perletakan kaku sebagai berikut :
 - Pelat beton bersirip kemiringan 30° dengan tulangan diperoleh beban maksimum (P_{maks}) adalah sebesar 5764,36 kg dan deformasi maksimum rata-rata 4,3 mm. Sedangkan pelat beton bersirip kemiringan 30° tanpa tulangan (P_{maks}) sebesar 5694 kg dan deformasi maksimum rata-rata 5,5 mm.
 - Pelat beton bertulang menghasilkan nilai beban maksimum terbesar terdapat pada sampel pelat beton kemiringan 30° dan 20° , sedangkan pelat beton tanpa bertulang menghasilkan nilai beban maksimum terbesar yaitu pada sampel pelat beton kemiringan 10° dan 0° .
2. Berdasarkan hasil model simulasi program SAP2000, beban maksimum retak pertama pada deformasi 0,01 mm untuk pelat beton bersirip tanpa tulangan kemiringan 0° sebesar 416 kg dan berdasarkan hasil uji eksperimental yaitu 1515,89 kg. Beban maksimum retak pertama hasil model simulasi program SAP2000

pada deformasi 0,009 mm untuk pelat beton bersirip tanpa tulangan kemiringan $8,53^\circ$ sebesar 423 kg dan berdasarkan hasil uji eksperimental yaitu 1467,83 kg.

3. Persentase perbandingan hasil model simulasi terhadap uji pembebanan pelat beton secara eksperimental untuk pelat beton bersirip kemiringan 0° yaitu 27,44% dan pelat beton bersirip kemiringan $8,53^\circ$ yaitu 28,82%.
4. Komposisi campuran untuk pelat beton bersirip dengan mutu 28 MPa yang direkomendasikan adalah:
 - Semen = 500 kg/m³
 - Pasir = 691,65 kg/m³
 - Kerikil = 845,75 kg/m³
 - Air = 250 kg/m³Dengan perbandingan semen : pasir : batu = 1 : 1,4 : 1,7.

Daftar Pustaka

- Agussariadi. 2011. "Skripsi Daya Dukung Pelat Beton Bersirip Sebagai Model Jalan Diatas Tanah Gambut Berdasarkan Panjang Sirip". Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Asiyanto. 2010. "Metode Konstruksi Proyek Jalan". Jakarta: Universitas Indonesia.
- Bachtiar, Vivi & Yusuf, M. 2010a. "Studi Tentang Penentuan Persyaratan Minimum untuk Konstruksi Jalan Beton (Rigid Pavement) di Atas Tanah Lunak

- dengan Cara Percobaan Pembebanan Langsung di Lapangan”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanungpura. Vol. 10(2) – Desember 2010, h.93-206.
- Das, B M. 1998. “Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)”. Surabaya: Erlangga.
- Harfedi, H. 2010. “Skripsi Tinjauan Prilaku Beban Versus Penurunan Pada Pelat Beton Berbentuk Persegi Panjang Diatas Tanah Gambut Dalam Fungsi Perbandingan Sisi Panjang Terhadap Sisi Pendek Berdasarkan Hasil Uji Pembebanan dan Program Komputer”. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Napitupulu, Harrys. 2006. “Kemajuan Perkerasan Beton di Indonesia”. Short Course HAKI: Perencanaan Rigid Pavement. 21 Juli 2006. Pontianak.
- Sitompul, Toni. 2009. “Pemakaian Elemen Grid Untuk Menentukan Lendutan Pada Balok”. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- Suryawan, Ari. 2009. “Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)”. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Yusuf, M. 2002. “Analisis Nonlinier Pelat Beton di atas Fondasi Elastis Nonlinier dengan Metode Elemen Hingga”. Jurnal Teknik Sipil ITB. Vol. 9(3) Juli 2002.
- Yusuf, M. 2003. “Teori Pertambahan Tegangan Metode Boussinesq Diterapkan pada Perhitungan Modulus Subgrade”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 3(2) – Des 2003, h.21-31.
- Yusuf, M. & Bachtiar, Vivi. 2006. “Uji Pembebanan Pelat Skala Kecil di Lapangan pada Tanah Lunak”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 6(1) – Juni 2006. h.83-96.
- Yusuf, M. 2008. “Kajian Numerik dan Eksperimental Perilaku Pelat Beton di Atas Tanah”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 8(2) – Desember 2008. h.123-140.
- Yusuf, M., dkk. 2009. “Studi Tentang Perilaku Pelat Beton di Atas Tanah Gambut untuk Pengembangan Jalan Beton di Pontianak”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 9(2) – Desember 2009. h.251-264.

- Yusuf, M. & Bachtiar, Vivi. 2012. “Studi Eksperimental Skala Kecil Tentang Daya Dukung Pelat Beton Bersirip Sebagai Model Jalan Beton di Tanah Gambut”. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol. 12(1) – Juni 2012. H.1-12.
- Wahyudi, T. 2010. “Skripsi Tinjauan Prilaku Beban Versus Penurunan Pada Pelat Beton Berbentuk Persegi Panjang Diatas Tanah Gambut Dalam Fungsi Tebal Pelat Beton Berdasarkan Hasil Uji Pembebanan dan Program Komputer”. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Wang, Chu-Kia. 1989. “Disain Beton Bertulang”. Jakarta: Erlangga.
- www.ilmusipil.com/perbandingan-jalan-beton-dan-aspal. Diakses pada 4 April 2016
- www.fadlyfauzie.wordpress.com/2012/03/02/perbaikan-tanah-soil-improvement. Diakses pada 16 Mei 2016.
- www.duniatekniksipil.web.id/411/desain-balok-beton-bertulang-5. Diakses pada 5 Juli 2017.