

SIMULASI NUMERIK UNTUK MENGATASI RETAK PENAMPANG *U-DITCH* PADA TAHAP PELAKSANAAN *HANDLING*

Malik Mushthofa¹, Junardi Masdar², Andi Rahmat³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: malik.mushthofa@uii.ac.id

²PT. Wika Beton, Boyolali, Jawa Tengah

Email: junardi.masdar@wika-beton.co.id

³Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Email: andi.rahmat@mail.ugm.ac.id

ABSTRACT

Increasing precast concrete usage in many sectors automatically spur fabricators to improve the quality of their products. Related to that, the application of u-ditch type 2 m domestic product, during product handling (when concrete was 7 hours old), many cracks occur at the section. Therefore, this optimization aims to improve product quality. Besides, this optimization also supports to increase production capacity due to the reinforcement volume. The results obtained from FEM simulation, the stress distribution is more favorable in the modified cross-section. Stress distribution of the section inner corner (cracks zone of the existing section), turn from tension become compression and then turn again to tension. Meanwhile, the modified section gives different stress distribution, stress transition from compression turns back again to tension not happen here. While the evaluation due to the strain value, the modified cross-section gives a smaller strain value than the existing cross-section strain. Reinforcement deformation that offers a direct effect to the concrete deformation decreases due to modified reinforcement configuration. Besides, this optimization results in a reduction of reinforcement volume by 10.54%.

Keywords: *u-ditch, FEM, Abaqus, cracks, stress-strain, reinforcement*

LATAR BELAKANG

Beton *precast u-ditch* sudah sangat lazim digunakan dalam pembuatan saluran air, mengingat keuntungannya dalam hal waktu pelaksanaan. Keuntungan beton pracetak dalam hal kemudahan instalasi, keseragaman mutu produk, kecepatan pelaksanaan dan hasil yang presisi membuat beton *u-ditch* pracetak menjadi pilihan utama dalam pekerjaan pembuatan saluran air. Pemakaian *u-ditch* sebagai saluran air biasanya sejajar dengan trase jalan, baik itu ditempatkan pada bahu jalan maupun pada badan jalan. Saluran air tersebut dapat diposisikan memanjang sejajar atau berpotongan dengan jalan. Posisi penempatan *u-ditch* tersebut berpengaruh

terhadap kinerja penampang *u-ditch* terkait dengan beban yang bekerja di atasnya. Sehubungan dengan fungsi konstruksi *u-ditch* sebagai jalan air, kualitas *u-ditch* selama masa layan harus sangat diperhatikan. Beton yang secara morfologi tidak padat dan kokoh akan lebih beresiko untuk mengalami pengikisan. Selain itu, bentuk penampang *u-ditch* yang mempunyai sudut-sudut bagian dalam penampang dapat menjadi titik lemah dalam kinerja penampang tersebut terkait dengan tegangan yang terjadi pada penampang selama masa layan.

Kualitas *u-ditch* pracetak dalam fungsinya sebagai jalan air dapat dijaga dengan pengendalian mutu sejak dalam proses

produksi. Tahapan pekerjaan pembuatan beton *u-ditch precast* ini dimulai dengan membuat adukan beton dan persiapan cetakan. Kemudian dilanjutkan dengan proses pengecoran, pemadatan dan pembongkaran cetakan beton setelah beton mengeras. Setelah beton mengeras dan cetakan sudah selesai dibongkar, maka dilakukan handling produk untuk dipindahkan ke gudang. Selama proses handling tersebut, pada *u-ditch* pracetak tipe 2 m ditemukan retak-retak pada penampang. Retak-retak tersebut dapat menjadi titik lemah pada penampang *u-ditch* dalam aplikasinya sebagai saluran air. Celah retakan tersebut cukup lebar bagi air untuk bergerak masuk ke dalam penampang beton mencapai tulangan dan dapat mengakibatkan korosi dan berakibat pada kerusakan penampang beton. Selain itu, retakan yang terjadi pada penampang beton dapat semakin parah apabila penampang *u-ditch* tersebut sudah dalam masa layan karena beban yang bekerja diatas penampang *u-ditch* merupakan beban dinamis.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif solusi dari permasalahan keretakan penampang tersebut. Kualitas beton yang digunakan dalam pembuatan produk *u-ditch* ini sudah baik, alternatif solusi dari permasalahan ini dapat dilakukan dengan perbaikan geometri penampang beton atau perbaikan konfigurasi penulangan. Alternatif perbaikan yang lebih dipilih adalah perbaikan konfigurasi penulangan, karena perbaikan geometri penampang beton memerlukan biaya yang lebih besar untuk membuat cetakan beton yang baru.

Penelitian ini dilakukan dengan analisis numerik *finite element method (FEM)* karena penampang *u-ditch* merupakan plat beton tipis, dan terdapat beberapa sudut belokan yang menjadikan geometri penampang *u-ditch* tidak sekedar lurus seperti plat *deck* beton biasa, serta perlu ditinjau tegangan regangan yang terjadi pada elemen-elemen kecil pada plat beton tersebut terutama pada titik-titik pergantian

bentuk yang diduga merupakan titik lemah pada penampang. Analisis numerik dengan *finite element method* dinilai mampu untuk melakukan analisis tegangan regangan pada element-element *u-ditch* terutama pada bagian-bagian sudut penampang yang cukup sulit apabila dilakukan analisis matematis secara manual. Hasil dari analisis numerik ini diharapkan cukup akurat untuk dijadikan penjelasan penyelesaian atas masalah yang sedang dibahas.

PENELITIAN TENTANG *U-DITCH*

Penelitian terkait kapasitas kinerja *U-ditch* pernah sebelumnya dilakukan oleh Wagola (2017) yaitu mengenai kapasitas lentur dengan menggunakan analisis FEM dengan bantuan *software* LUSAS. Adapun dalam penelitian tersebut, benda uji yang digunakan terdiri dari 3 kelompok benda uji, di antaranya 2 benda uji produk lokal dan 1 benda uji produk perusahaan asal Jepang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas lentur dari produk lokal #1 dan produk lokal #2 berturut-turut adalah sebesar 6,34 kN.m/m' dan 3,79 kN.m/m', serta kapasitas lentur produk perusahaan asal Jepang sebesar 7,46 kN.m/m'.

Penelitian analisis kinerja penampang *u-ditch* pracetak dengan FEM juga sebelumnya pernah dilakukan. Muchtar (2017) melakukan simulasi FEM untuk *u-ditch* dengan pemodelan 2 dimensi. Pemodelan FEM dilakukan dengan *software* FEA SPUSAS *simulation*. Dari hasil pemodelan selain dapat diperoleh hasil-hasil analisis antara lain berupa lendutan, tegangan, regangan dengan rentang error terhadap hasil eksperimental sebesar 4,6 % s.d. 38,24 %. Besarnya nilai *error* dari hasil analisis FEM terhadap hasil eksperimental diduga merupakan akibat perbedaan kondisi struktur beton pada pengujian eksperimental dan pada pemodelan FEM. Dalam pemodelan FEM *u-ditch* diasumsikan tersusun atas komponen beton dengan struktur anatomi beton yang menyatu dan homogen. Sedangkan pada kondisi riil,

elemen beton *u-ditch* terdiri dari banyak rongga dan susunan anatomi komponen beton yang tidak teratur. Selain untuk mencari nilai-nilai analisis struktur, pemodelan FEM dapat digunakan untuk mengetahui pola keretakan beton apabila sudah mencapai kondisi maksimum tahanan beton terhadap tegangan tarik.

Penelitian dengan FEM tersebut merupakan analisis dengan pendekatan numerik untuk mengetahui perilaku penampang *u-ditch* pracetak terhadap beban kerja sampai dengan batas ultimitnya. Kelemahan dalam analisis dengan pendekatan numerik adalah benda uji dianggap homogen, dan kokoh, akibatnya pola distribusi tegangan dan regangan yang dihasilkan mempunyai pola yang baik, sedangkan kondisi riil benda uji beton sendiri belum tentu morfologi betonnya kompak dan kokoh secara keseluruhan. Hal tersebut yang menjadi salah satu faktor penyebab nilai hasil analisis numerik berbeda dengan hasil eksperimen.

Penelitian kapasitas kinerja penampang *u-ditch* pracetak secara eksperimental pernah dilakukan sebelumnya. Ansar (2016) melakukan pengujian eksperimental untuk menentukan kapasitas lentur dari 3 macam benda uji yaitu berupa 2 benda uji *u-ditch* produk lokal, dan 1 produk *u-ditch* produk perusahaan asal Jepang. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, *u-ditch* lokal #1 menunjukkan nilai kapasitas lentur terhadap berat sendiri sebesar 11,74 kN.m /ton/m', *u-ditch* lokal #2 menunjukkan nilai 7,00 kN.m/ton/m' dan *u-ditch* produk perusahaan asal Jepang menunjukkan nilai 16,41 kN.m/ton/m'.

Penelitian secara eksperimental serupa dengan tipe *u-ditch* yang berbeda pernah juga pernah dilakukan sebelumnya. Djameluddin (2016) mengidentifikasi kapasitas lentur dari 2 benda uji produk lokal dan 1 benda uji produk perusahaan asal Jepang. Dari hasil pengujian diperoleh kapasitas lentur *u-ditch* lokal #1 sebesar

6,342 kN.m/m', *u-ditch* produk lokal #2 sebesar 2,492 kN.m/m' dan *u-ditch* produk perusahaan asal Jepang sebesar 7,118 kN.m/m'.

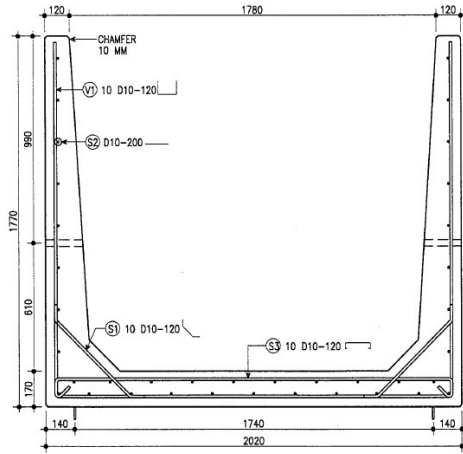
Penelitian terkait inovasi atau perbaikan untuk meningkatkan kualitas atau kapasitas kinerja penampang *u-ditch* pracetak pernah dilakukan sebelumnya. Novitri (2016) melakukan inovasi untuk mengurangi dimensi penampang dengan menggunakan sistem corrugated pada dinding *u-ditch*. Hasil dari inovasi tersebut, kebutuhan volume *u-ditch* mengalami penurunan, tetapi pengurangan volume tersebut disertai dengan penurunan kapasitas lentur dari 10,5 kN.m menjadi 8,72 kN.m. Kemudian untuk mempertahankan kapasitas momennya maka dilakukan perkuatan struktur pada dinding yang telah dimodifikasi dengan menggunakan CFRP yang kemudian hasilnya menunjukkan peningkatan kapasitas lentur menjadi 9,70 kN.m.

DETAIL PENAMPANG, PENULANGAN DAN PEMODELAN

1. Penampang Eksisting

Permasalahan keretakan penampang ketika dilakukan handling hanya terjadi pada penampang *u-ditch* pracetak tipe 2 m. Oleh karena itu yang akan dibahas pada penelitian ini hanya penampang *u-ditch* tipe 2 m saja. Detail penampang dan penulangan untuk penampang *u-ditch* tipe 2 m ditunjukkan sebagaimana oleh Gambar 1.

Tulangan utama penampang *u-ditch* ditunjukkan oleh tulangan dengan label V1, S1 dan S3. Perhitungan jumlah volume tulangan per segmen penampang eksisting ditunjukkan dalam Tabel 1.



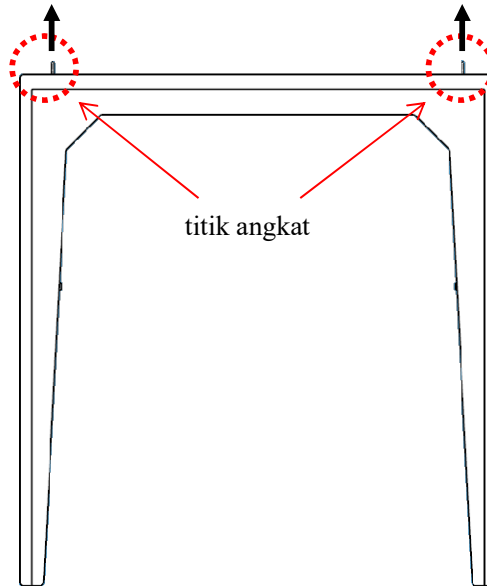
Gambar 1. Detail penampang & penulangan *u-ditch* 2 m produk PT. Wika Beton

Tabel 1 Perhitungan volume pekerjaan penulangan per segmen *u-ditch* tipe 2 m.

Label	dia (mm)	L (mm)	s (mm)	Volume (mm ³)	Bar Bend
V1	13	6120	120	4873930	
S2	10	1000	200	3220132	—
S1	13	1298	120	1033719	
S3	13	2276	120	1812592	
Total				10940373	

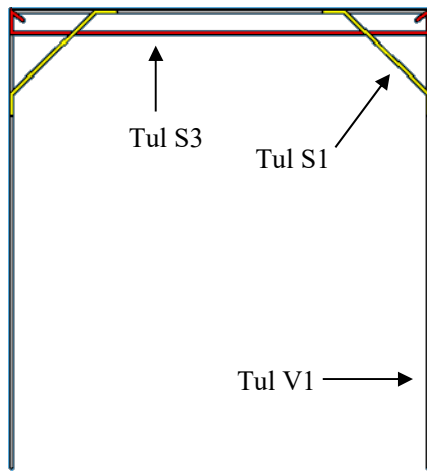
2. Penampang Modifikasi

Alternatif perbaikan kualitas produk *u-ditch* tipe 2 m terkait dengan munculnya keretakan ketika tahapan handling produk antara lain dapat dilakukan dengan memperbaiki penampang beton *u-ditch* atau dengan memperbaiki konfigurasi penulangan. Alternatif solusi dengan memperbaiki konfigurasi penulangan merupakan solusi yang lebih baik (dari sisi efisiensi biaya produksi) daripada memperbaiki penampang beton.

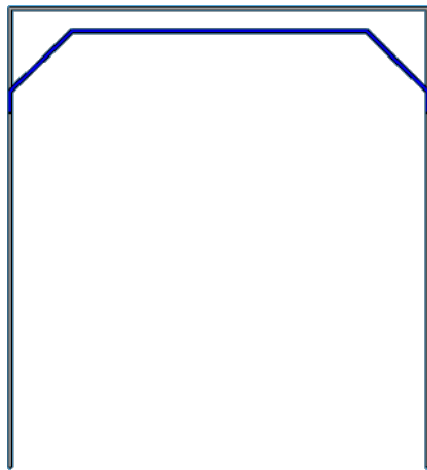


Gambar 2. Skema pengangkatan *u-ditch*

Skema pengangkatan *u-ditch* ketika tahapan handling produk ditunjukkan dalam Gambar 2. Titik angkat pada kait *u-ditch* ketika pengangkatan berperan sebagai titik tumpu dan beban yang bekerja adalah beban sendiri penampang *u-ditch* kearah gravitasi. Skema pembebanan pada tahapan handling berbeda dengan skema pembebanan pada tahapan operasional *u-ditch* sebagai saluran air. Beban utama yang harus didukung pada tahapan handling adalah berat sendiri beton dengan titik tumpu pada kait, sedangkan beban utama pada tahapan operasional adalah tekanan tanah dan beban vertikal diatas *u-ditch* dengan titik tumpu permukaan bawah *u-ditch*.



(a)

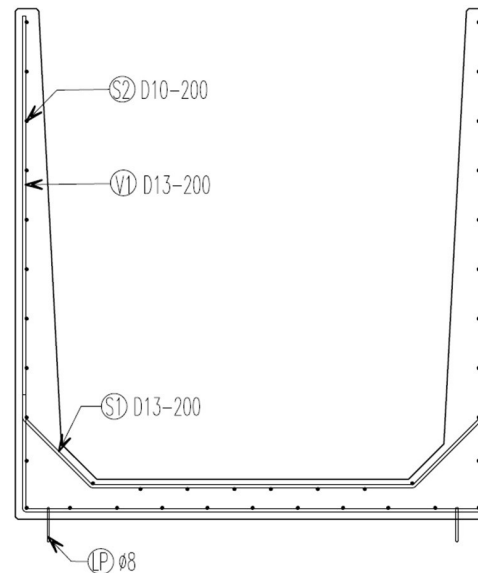


(b)

Gambar 3. (a) Tulangan penampang eksisting; (b) tulangan penampang modifikasi.

Gambar 3 (a) menunjukkan konfigurasi masing-masing penulangan pada penampang eksisting. Konfigurasi penulangan pada penampang eksisting bekerja sangat baik ketika mendukung beban layan yang terdiri dari beban horisontal berupa tekanan tanah dan beban vertikal jika ada beban kendaraan. Tulangan S1 yang berperan sebagai penopang beban horisontal tidak bekerja cukup baik ketika skema



pembebanan yang terjadi adalah skema pembebanan tahapan *handling* produk. Sedangkan tulangan S3 berperan sebagai tulangan rangkap bagi plat beton horisontal. Oleh karena itu dilakukan perbaikan dengan cara mengkombinasikan tulangan S3 dengan tulangan S1 menjadi satu rangkaian. Rangkaian gabungan tulangan S1 dan tulangan S3 diasumsikan dapat mewakili kinerja masing-masing tulangan tersebut dengan tanpa menghilangkan peran tulangan S3 dan menambah panjang kait bagi tulangan S1. Hasil penggabungan tulangan S1 dan tulangan S3 tampak sebagaimana dalam Gambar 3 (b). Detail penulangan pada penampang modifikasi ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Detail penulangan segmen modifikasi

Perhitungan volume pekerjaan penulangan segmen modifikasi ditunjukkan dalam Tabel 2. Tulangan S1 dan tulangan S3 pada penampang eksisting digabungkan menjadi satu rangkaian tulangan S1 pada penampang modifikasi.

Tabel 2. Volume pekerjaan penulangan segmen *u-ditch* 2 m modifikasi

Label	dia (mm)	L (mm)	s (mm)	Volume (mm ³)	Bar Bend
V1	13	6120	200	4873930	
S2	10	1000	200	3063053	—
S1	13	2324	200	1850819	
Total				9787802	

Berdasarkan perbandingan hitungan volume pekerjaan penulangan pada penampang eksisting dan penampang modifikasi, didapatkan selisih besaran volume tulangan sebagaimana ditunjukkan Tabel 4 diketahui bahwa dapat dilakukan penghematan volume pekerjaan penulangan sebesar 10,54 %.

Table 3. Peraturan pekerjaan penulangan beton pelat yang diatur dalam SNI 2847:2013

No	Pasal	Ketentuan	Aktual	Keterangan
1	7.2. Diameter bengkokan minimum	Diameter dalam bengkokan $\geq 4d_b$ untuk tulangan D16 dan yang lebih kecil	Bengkokan paling kecil sudutnya 90°, sehingga diameternya lebih dari 4db	Memenuhi
2	7.6. Batas spasi untuk tulangan	Spasi bersih minimum $\geq d_b$ dan ≥ 25 mm	Spasi minimum sebesar 182 mm	Memenuhi
		Bila dua lapis atau lebih, tulangan lapis atas harus sejajar dengan dibawahnya dengan spasi bersih > 25 mm		Memenuhi
		Pada elemen tekan, jarak antar tulangan longitudinal $\geq 1,5 d_b$ atau < 40 mm		Memenuhi
		Pada dinding dan slab, spasi tulangan lentur utama ≤ 3 kali tebal slab atau dinding, dan ≤ 450 mm		Memenuhi
3	7.12. Tulangan susut dan suhu	Rasio tulangan susut dan suhu terhadap penampang beton slab dengan mutu tulangan 420 MPa minimum 0,0018	0,003154404	Memenuhi
		Spasi tulangan susut dan suhu ≤ 5 kali tebal slab dan ≤ 450 mm	Spasi minimum 190 mm	Memenuhi
4	10.5. Tulangan minimum pada komponen struktur lentur	Untuk slab, spasi antar tulangan ≤ 3 kali tebal slab, atau ≤ 450 mm	Spasi minimum sebesar 182 mm	Memenuhi
5	10.6. Distribusi tulangan lentur pada balok dan slab satu arah	Spasi terdekat ke muka tarik $\leq 380(280/f_s) - 2,5c_s$, tetapi $< 300(280/f_s)$ dimana c_s adalah jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik, dan f_s boleh diambil sebesar $2/3f_y$	Spasi minimum 190 mm	Memenuhi
6	14.3 Dinding Tulangan Minimum	Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton 0,0012 untuk tulangan ulir tidak lebih besar dari D16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa	0,00233	Memenuhi
		Rasio minimum luas tulangan horisontal terhadap luas bruto beton 0,0020 untuk tulangan ulir tidak lebih besar dari D16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa	0,004345	Memenuhi

Tabel 4 Perbandingan volume pekerjaan penulangan

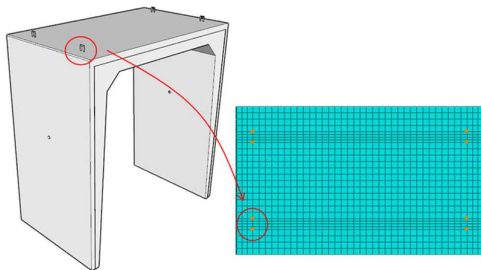
Vol. penulangan eksisting (mm ³)	10940373
Vol. penulangan modifikasi (mm ³)	9787802
Selisih (mm ³)	1152572
Persentase	10,54%

3. Syarat Penulangan SNI 2847: 2013

Modifikasi tulangan pada penampang segmen *u-ditch* tersebut dilakukan dengan memperhatikan syarat-syarat dan ketentuan penulangan dalam SNI 2847: 2013 sebagaimana uraian berikut. Berdasarkan uraian terhadap pasal-pasal yang mengatur tentang penulangan pelat sebagaimana diuraikan dalam Tabel 3, modifikasi penulangan yang dilakukan sudah memenuhi kaidah sesuai dengan SNI 2847: 2013.

4. Pemodelan FEM

Simulasi pelaksanaan ini dilakukan dengan *software* ABAQUS. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui efek yang terjadi pada penampang *u-ditch* akibat modifikasi penulangan terhadap tahapan pelaksanaan *handling*. Tahapan *handling* produk merupakan salah satu tahapan dalam serangkaian proses produksi beton pracetak. Proses *handling* meliputi proses pengangkatan produk pracetak dan pemindahan produk menuju tempat penyimpanan produk (gudang).



Gambar 5. Pemodelan tumpuan pada Abaqus

Titik angkat berupa tulangan polos diameter 8 mm yang dilas terhadap tulangan utama didalam penampang beton. Pemodelan kait sebagai titik angkat dimodelkan berupa dua titik tumpuan sendi/pin (Gambar 5), dimana beban kerja pada tahapan *handling* ini adalah berat sendiri beton (*self weight*) segmen *u-ditch*. Properti material yang digunakan dalam pemodelan ini diuraikan dalam Tabel 5 Mutu beton f_c' sebesar 28 MPa adalah mutu beton yang diasumsikan akan dicapai pada umur beton 28 hari, sedangkan ketika dilakukan proses *handling* umur beton adalah 7 jam. Penambahan *accelerating admixtures polimer* pada campuran beton memberikan efek beton mengeras lebih cepat. Nilai kuat tekan beton yang dicapai pada umur 7 jam berada pada kisaran 50 % f_c' , sehingga dalam pemodelan kuat tekan beton ditetapkan sebesar 14 MPa.

Tabel 5. Properti material pemodelan FEM

No	Material	Mutu
1	Elastisitas baja tulangan	200.000 MPa
2	Tulangan dia. \geq 13 mm	BJTD 40
3	Tulangan dia. $<$ 13 mm	BJTP 24
4	Berat volume baja tulangan	7850 kg/m ³
5	Berat volume beton	2400 kg/m ³
6	Kuat tekan beton	14 MPa
7	Elastisitas beton	17.585,8 MPa

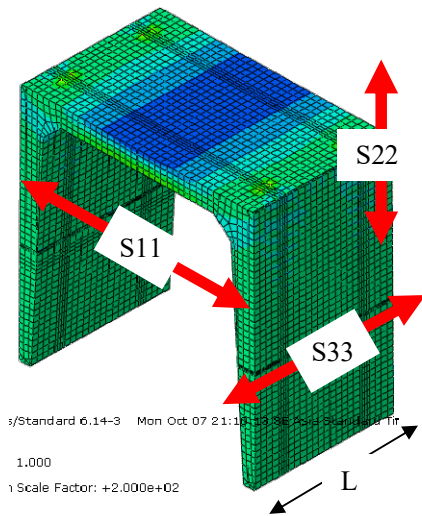
HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan yang pada produk *precast* ini sebagaimana sudah diuraikan dalam latar belakang yaitu munculnya retak-retak pada bagian sudut dalam *u-ditch* pada saat dilakukan proses *handling*. Retak-retak pada beton dapat muncul apabila tegangan tarik yang terjadi melebihi tegangan tarik beton yang diijinkan terjadi pada beton tersebut. Simulasi ini dilakukan untuk

mengetahui besaran nilai tegangan yang terjadi pada penampang beton pada saat dilakukan proses *handling*.

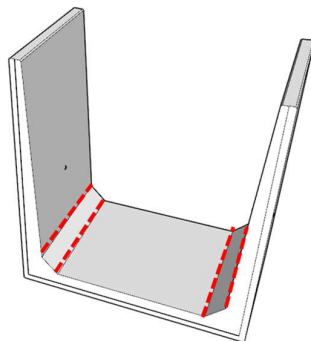
1. Tegangan Regangan Pada Beton

Simulasi FEM yang dilakukan menggunakan tinjauan 3D, sehingga tinjauan arah tegangan dan regangan yang terjadi dilakukan dalam 3 arah sumbu sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6.



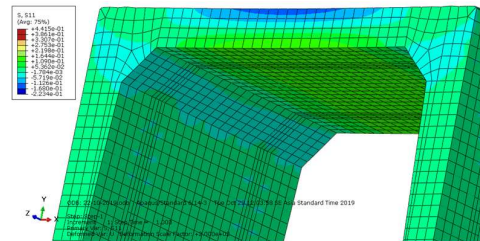
Gambar 6. Tinjauan arah kerja tegangan

Tinjauan yang akan dibahas hanya tegangan dan regangan yang terjadi pada arah sumbu 1 S11, karena keretakan yang terjadi adalah keretakan pada arah sumbu 1 sebagaimana Gambar 7.

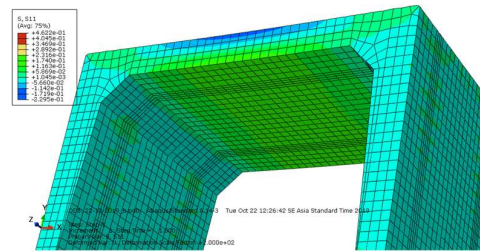


Gambar 7. Posisi terjadinya retak seperti yang ditunjukkan oleh garis merah

Simulasi dilakukan dengan 50 % f_c' karena proses *handling* dilakukan ketika beton berumur 7 jam. Campuran beton dengan bahan tambah polimer memberikan efek beton menjadi lebih cepat mengeras. Berdasarkan hasil pengujian yang pernah dilakukan oleh perusahaan produsen beton *precast* tersebut, ketika proses *handling* dilakukan (umur beton 7 jam), kekuatan beton sudah mencapai 50% f_c' .



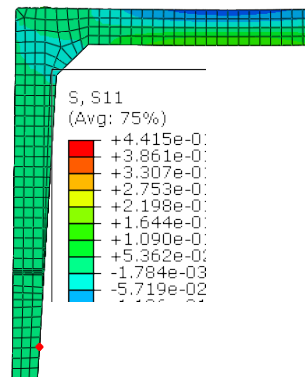
(a)



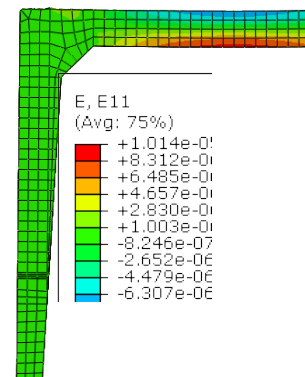
(b)

Gambar 8 (a). Tegangan yang terjadi pada penampang eksisting, (b). tegangan yang terjadi pada penampang modifikasi

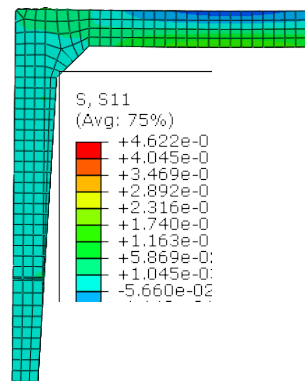
Tampak distribusi tegangan yang terjadi pada sudut bagian dalam *u-ditch* eksisting dan modifikasi sebagaimana ditunjukkan Gambar 8 berbeda. *U-ditch* penampang eksisting tegangan pada bagian sayapnya mengalami tegangan tarik. Sedangkan pada *u-ditch* penampang modifikasi tegangan pada bagian sayapnya cenderung bernilai nol dan negatif (cenderung kearah tegangan desak).



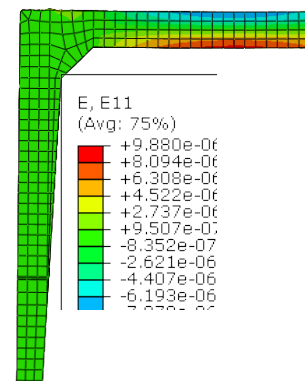
(a)



(a)



(b)



(b)

Gambar 9 (a). Tegangan S11 penampang eksisting, (b). tegangan S11 penampang modifikasi.

Gambar 10 (a). Regangan E11 penampang eksisting, (b). regangan E11 penampang modifikasi.

Perbandingan pada tegangan penampang beton digambarkan sebagaimana Gambar 9. Efek dilakukannya modifikasi tulangan menyebabkan perubahan distribusi tegangan pada penampang beton. Tulangan lentur plat horisontal dan tulangan pada sayap *u-ditch* disatukan dengan las. Perbedaan konfigurasi pada penampang modifikasi mengakibatkan posisi sambungan tulangan lentur pada plat horisontal dan plat pada sayap semakin ke posisi tengah sayap. Akibatnya apabila bagian sayap cenderung mengalami tegangan tarik pada penampang eksisting, sebaliknya pada penampang modifikasi bagian sayapnya cenderung terjadi tegangan tekan.

Keretakan pada penampang beton dapat terjadi apabila tegangan tarik yang terjadi melebihi besarnya tegangan tarik ijin. Tegangan tarik ijin pada beton normal dapat diasumsikan sebesar $0,1 f_c'$. Berdasarkan hal tersebut apabila f_c' sebesar 28 MPa, maka $50\% f_t$ adalah 1,4 MPa. Tampak pada penampang tersebut tegangan tarik terbesar yang terjadi adalah sebesar 0,44 MPa pada penampang eksisting dan 0,46 MPa pada penampang modifikasi. Tegangan tarik tersebut terjadi pada titik angkat saat *handling*. Sedangkan pada penampang, tegangan tarik terbesar yang terjadi sekitar 0,16 MPa s.d. 0,17 MPa, jadi menurut besaran tegangan tarik pada penampang tidak akan terjadi retak.

Sejalan dengan tegangan yang terjadi pada penampang beton, regangan paling kritis adalah regangan yang berada pada arah sumbu 1. Apabila digunakan tinjauan nilai regangan, tampak regangan maksimum justru terjadi pada sisi lentur tarik plat beton horisontal dan selain itu, bisa dikatakan tidak terjadi konsentrasi regangan tarik pada tekukan bagian dalam *u-ditch* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 10, sebagaimana retakan yang terjadi dilapangan pada penampang eksisting ketika dilakukan *handling*. Regangan maksimum yang terjadi pada penampang modifikasi lebih kecil ($9,88 \cdot 10^{-6}$) dibandingkan dengan yang terjadi pada penampang modifikasi ($1,014 \cdot 10^{-5}$). Nilai regangan ijin untuk tidak terjadi keretakan adalah sebesar $50\%ft / E$ atau sebesar ($7,96 \cdot 10^{-5}$), nilai tersebut masih jauh diatas nilai regangan maksimum yang terjadi pada kedua penampang, jadi berdasarkan hasil analisis tidak akan terjadi keretakan.

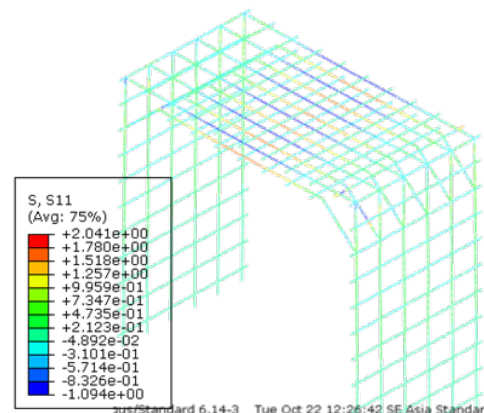
Keretakan pada penampang eksisting terjadi diduga karena software abaqus mensimulasikan penampang beton sudah terikat secara sempurna antar partikel penyusunnya. Padahal kenyataan dilapangan, umur beton saat dilakukan *handling* adalah 7 jam, berkat penambahan zat aditif maka dalam umur 7 jam kekuatannya sudah setara $50\% fc'$ beton tersebut. Efek yang ditimbulkan oleh zat aditif tersebut memang pada saat umur 7 jam kekuatannya sudah meningkat dengan drastis, tetapi belum ada penelitian yang dilakukan untuk mengidentifikasi bagaimana morfologi susunan antar partikel didalam beton tersebut.

Apabila digunakan distribusi tegangan sebagai tinjauan, maka posisi terjadinya retakan adalah posisi dimana penampang mengalami tegangan tarik berubah ke tegangan tekan, kemudian pada bagian penampang mengalami tegangan tekan dan berubah menjadi tegangan tarik. Lain halnya yang terjadi pada penampang modifikasi, tampak bahwa pada sudut

pergantian penampang tidak terjadi perubahan tegangan tekan ke tarik.

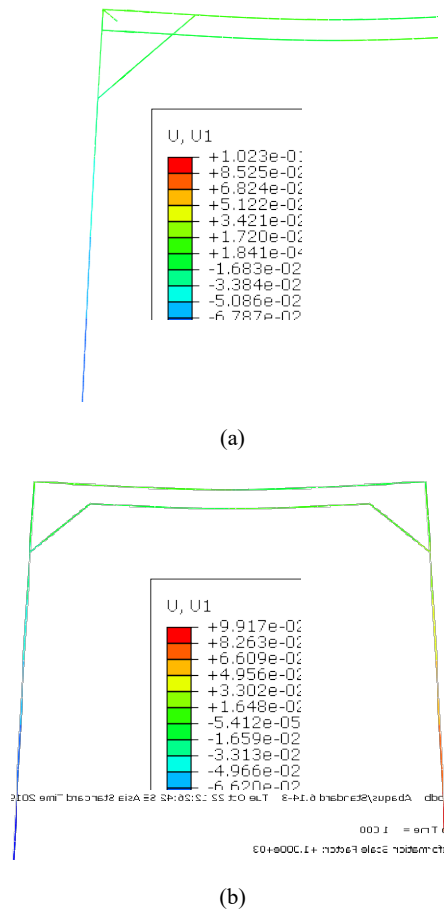
2. Tegangan dan Regangan Pada Tulangan

Tegangan yang terjadi pada tulangan penampang modifikasi bernilai sangat kecil. Hal ini sejalan dengan nilai tegangan tarik maksimum pada penampang beton eksisting dan penampang beton modifikasi yang masih lebih kecil dari tegangan tarik ijin. Dikarenakan pada penampang beton tidak terjadi retak maka nilai tegangan tarik S11 juga sangat kecil sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Tegangan S11 yang terjadi pada tulangan penampang modifikasi

Regangan yang terjadi pada tulangan penampang modifikasi tidak perlu ditinjau, karena nilai regangan beton tarik yang terjadi pada penampang modifikasi nilainya lebih kecil daripada regangan tarik pada penampang eksisting.



Gambar 12 (a). Deformasi nodal pada tulangan penampang eksisting; (b). deformasi nodal pada tulangan penampang modifikasi.

Deformasi pada beton terkait perilaku tarik dipengaruhi oleh deformasi pada tulangan. Hal ini terjadi karena tulangan yang berperan sebagai kait / titik angkat beton *u-ditch* dilas terhadap rangkaian tulangan utama dalam beton pracetak, sehingga efek tarikan pada tulangan kait memberikan efek langsung kepada tulangan utama. Efek perubahan konfigurasi penulangan terhadap deformasi yang terjadi pada tulangan cukup jelas terlihat pada diagram deformasi yang terjadi pada tulangan sebagaimana Gambar 12. Deformasi tulangan terbesar yang terjadi pada penampang eksisting sebesar

0,1023 mm, sedangkan pada penampang modifikasi sebesar 0,09917 mm. Modifikasi yang dilakukan pada konfigurasi penulangan menurunkan nilai deformasi tulangan pada sayap *u-ditch* sebesar 3,06 %.

KESIMPULAN

1. Distribusi tegangan hasil simulasi FEM menunjukkan retak-retak yang terjadi disebabkan oleh terjadinya tegangan tarik pada bagian sudut dalam penampang *u-ditch*.
2. Modifikasi konfigurasi penulangan dapat memperbaiki distribusi tegangan yang terjadi pada penampang, sehingga tidak terjadi tegangan tarik pada bagian sudut dalam penampang *u-ditch* dan menurunkan deformasi terbesar yang terjadi pada tulangan.
3. Dampak positif dari modifikasi penulangan adalah terjadi penghematan volume pekerjaan penulangan sebesar 10,54 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansar, M. A., Djamaludin, R., Irmawaty, R. (2016). "Uji Eksperimental Kekuatan Drainase Tjep *U-ditch* Pracetak". Jurnal Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanudin.
- Djamaludin, R., Irmawaty, R., Djamaludin, I., Komine, K. (2016). "Studi Komparasi Kapasitas Lentur *U-ditch* Pracetak Produk Lokal dengan Produk Jepang". Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta 2016: 384-391.
- Muchtar, I., Djamaludin, R., Irmawaty, R. (2017). "Simulasi Pemodelan *U-ditch* Precast Berbasis FEM".

Jurnal Tugas Akhir Jurusan Sipil
Fakultas Teknik Universitas
Hasanudin.

- Novitri, T., Djamaludin, R., Irmawaty, R.,
(2016). "*Studi Standar Desain dan
Produk U-ditch Pracetak*". Jurnal
Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas
Teknik Universitas Hasanudin.
- Wagola, E.S., Djamaludin, R., Irmawaty, R.
(2017). "*Kapasitas Lentur Saluran
Drainase Beton Pracetak (U-
ditch)*". Jurnal Sains & Teknologi,
Juni 2017, Vol. 6 No. 1: 99-103.
- Yunianta, A., Suripin, Setiadji, B. H. (2019).
"*Design of Sustainable Road
Drainage System Model*". Journal
of Sustainable Engineering:
Proceedings Series 1 (1) 2019: 35-
45.