

RANCANGAN ARF (ANCHORED REACTION FRAME) PADA PENGUJIAN BEBAN STATIS TIANG PONDASI

Junior Sahat P. Tampubolon¹⁾, Riana Herlina Lumingkewas^{1)*}

1) Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Indonesia

E-mail: riana.herlina@iti.ac.id^{*} ; Juniorsahat.bsn@gmail.com

Abstrak

Salah satu metode uji beban statis berdasarkan ASTM D1143-20 adalah sistem Anchored Reaction Frame (ARF). Sistem ini membutuhkan penerapan beban besar pada kepala tiang uji melalui rangka reaksi yang mampu menahan gaya tekan maupun tarik tanpa mengalami deformasi berlebih. Komponen utama dalam sistem ini adalah baja transfer yang berfungsi menyalurkan beban dari dongkrak hidrolik ke rangka reaksi. Perancangannya memperhitungkan momen lentur, gaya geser, stabilitas lateral, serta distribusi beban agar tidak terjadi kegagalan struktur maupun ketidaksesuaian hasil uji. Dalam perancangan ARF untuk uji beban statis sebesar 1.320-ton digunakan dua baja transfer dengan dimensi 1900 x 600 mm dan 1300 x 600 mm, yang dirangkai dari profil IWF 700 x 300 mm dan IWF 600 x 300 mm. Hasil analisis menunjukkan kedua profil tersebut tidak mampu menahan momen ultimit di tengah bentang sehingga berpotensi mengalami tekuk lokal pada bagian tekan. Untuk meningkatkan kinerjanya, digunakan sambungan mekanis berupa cover plate dan stiffener. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada profil 1900 × 600 mm, penambahan cover plate meningkatkan kapasitas lentur nominal sebesar 44,35% dan mengurangi lendutan sebesar 45,13%, penambahan sambungan stiffener meningkatkan kapasitas geser hingga 34,80%. Pada profil 1300 × 600 mm, cover plate meningkatkan kapasitas lentur sebesar 51,03% dan mengurangi lendutan 44,84%, sedangkan stiffener meningkatkan kapasitas geser hingga 37,73%. dari hasil penelitian ini menunjukkan cover plate dan stiffener secara signifikan meningkatkan kapasitas, kekakuan, serta efektivitas distribusi beban pada baja transfer dalam sistem ARF untuk uji beban statis.

Kata Kunci: Uji Beban Statis, Rangka Reaksi Angkur, Pile Reaksi Angur, Profil IWF Gabungan, Desain Balok Transfer

Pendahuluan

ARF (*Ancored Reaction Frame*) merupakan suatu salah satu sistem yang digunakan dalam uji beban statik aksial tiang pondasi yang mengacu pada ASTM D1143M–20. Prinsip sistem ini adalah interaksi antara gaya – gaya yang ditimbulkan dari beban aksial sehingga dapat menimbulkan deformasi pada struktur ARF dan tiang pondasi, semakin besar bentangan dan beban aksial (P) maka semakin besar juga profil komponen struktur ARF yang dibutuhkan untuk mengatasi deformasi seperti momen, lendutan (δ). Komponen penting dalam sistem ARF adalah baja transfer yang berfungsi menyalurkan beban dari sistem hidrolik kerangka reaksi. Perancangan baja transfer harus mempertimbangkan momen lentur, gaya geser, stabilitas lateral, serta penyebaran beban agar distribusi gaya tetap merata. Kegagalan dalam perancangan dapat menyebabkan ketidaksesuaian hasil pengujian atau bahkan kerusakan pada peralatan dan pondasi uji. Perbandingan aksial dihitung dari uji beban yang akan diterapkan pada pondasi tiang uji dengan penentuan jumlah tiang reaksi yang didasari dari kapasitas tahanan lekatan (friksi), sehingga tiang-tiang reaksi tersebut diasumsikan mampu menahan beban yang diterapkan.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji desain sistem ARF (*Anchored Reaction Frame*) dengan mengoptimalkan kekuatan, kekakuan, dan distribusi beban pada elemen baja transfer dalam mendukung pelaksanaan uji beban statik aksial 1320-ton melalui gaya dongkrak hidrolik tanpa mengalami kegagalan struktural, serta menganalisis kinerja profil baja transfer dalam menahan gaya vertikal dari dongkrak dan mengidentifikasi upaya untuk mengatasi potensi tekuk lokal maupun deformasi berlebih di tengah bentang akibat beban ultimit. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi kontribusi sambungan stiffener dan cover plate dalam meningkatkan kapasitas, kekakuan, serta efektivitas distribusi beban pada elemen baja transfer dalam sistem ARF. Aspek terakhir yang dikaji adalah menilai kapasitas tulangan (rebar) pada pile agar dapat menahan gaya tarik yang timbul dari sistem ARF selama pelaksanaan uji beban statik aksial pada tiang pondasi.



Gambar 1. Sistem ARF penelitian

Studi Pustaka

Menurut Bowles 1997, dalam pengujian tiang pondasi gaya tekan vertikal (aksial) diberikan melalui dongkrak hidrolik dan diteruskan melalui ARF ke elemen-elemen reaksi yang terdiri dari tiang pancang atau tiang bor tambahan yang berfungsi sebagai tumpuan reaksi. Oleh karena itu, desain ARF harus mempertimbangkan besar beban maksimum, titik aplikasi beban, serta sistem reaksi yang tersedia di lapangan. Setiap elemen ARF harus dianalisis berdasarkan metode mekanika teknik, termasuk perhitungan momen maksimum, lendutan, dan stabilitas torsi, untuk memastikan desain yang aman dan efisien (Hibbeler, 2011). Selain itu, analisis balik terhadap hasil uji beban tiang juga memungkinkan evaluasi terhadap modulus tanah sehingga prediksi respons kelompok tiang reaksi dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Tiang Reaksi

Tiang reaksi merupakan tiang pondasi bored pile atau tiang pancang, penggunaan tulangan baja untuk menahan gaya tarik dari ARF dalam pelaksanaan uji beban statik aksial tekan, Seperti dikemukakan oleh Fleming et al, khususnya apabila digunakan tiang tarik sebagai reaksi, jarak antar tiang sebaiknya dibuat sejauh mungkin, karena interaksi signifikan dapat terjadi bila jarak antar tiang kurang dari lima kali diameter tiang. Namun, dalam praktiknya, keterbatasan ruang di lapangan sering kali menyebabkan jarak ini harus dikurangi menjadi hanya 3 – 4 kali diameter tiang. Jarak yang terlalu dekat ini menimbulkan interaksi yang cukup besar, yang berdampak terhadap kurva hubungan beban – penurunan dan, pada akhirnya, terhadap nilai kekakuan tiang, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara beban tertentu dengan besarnya penurunan. Hal ini berpotensi mempengaruhi hasil perencanaan struktur yang menggunakan pondasi tiang.

Untuk memberikan kekuatan yang memadai terhadap material dan beban, nilai faktor reduksi kekuatan tarik (ϕ) pada elemen yang bekerja kondisi tarik maupun lentur.

Balok Baja

Menurut Spigel pada tahun 1998 dalam proses desain balok, pada awalnya yang ditinjau adalah masalah momen lentur balok dan efek-efek lainnya seperti geser atau defleksi. Baja struktural seperti profil wide flange (WF) umumnya digunakan pada sistem yang membutuhkan kapasitas beban besar dengan dimensi yang tetap efisien. Ketika menerima momen lentur positif, seluruh sayap atas (top flange) bekerja menahan tegangan tekan, sedangkan seluruh sayap bawah (bottom flange) mengalami tegangan tarik. Sementara itu, pelat badan (web plate) menanggung tegangan tekan pada sebagian area dan tegangan tarik pada bagian lainnya. Salah satu kegagalan struktur balok baja adalah kegagalan tekuk. Pada umumnya tekuk balok diakibatkan oleh gaya aksial, atau gaya yang bekerja pada sumbu utama penampang struktur.

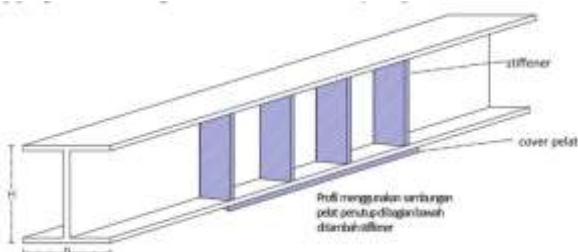
Tekuk merupakan proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, sehingga terjadilah perubahan bentuk dalam rangka menemukan keseimbangan baru. Tekuk pada profil baja terbagi atas Tekuk Lokal Balok dan Tekuk Torsi Lateral Balok. Dimana Tekuk Lokal Balok terjadi akibat sayap atau badan balok yang tipis sehingga penampang balok mengalami tekukan tanpa melibatkan keseluruhan balok sehingga kapasitasnya tekannya menurun namun belum

tentu kehilangan kekakuan global. Sementara Tekuk Torsi Lateral Balok terjadi pada balok keseluruhan yang menerima momen lentur sehingga balok melentur ke samping dan mengalami puntiran, penyebabnya panjang bentang balok terlalu besar dan tidak diberi pengaku pengekang lateral pada sayap atas sehingga kapasitas momen nominal lebih rendah dari kapasitas plastis penuh **Stiffener**.

Stiffener adalah pengaku yang dipasang untuk membantu badan balok membentuk garis nodal saat terjadi tekuk pada pelat badan, sekaligus menahan gaya tekan yang ditransmisikan dari badan balok. Pada flens tekan, pengelasan stiffener berfungsi memberikan stabilitas sehingga stiffener tetap tegak lurus terhadap badan balok dan tidak mengalami pergeseran.

Pelat pada flens (*Cover Plate*)

Penambahan pelat pada flens (*cover plate*) merupakan salah satu metode yang efektif untuk meningkatkan kapasitas lentur pada profil baja tipe WF. [6] Dalam penelitiannya, metode ini relatif ekonomis dan dapat dilakukan tanpa perlu mengganti seluruh elemen struktur. Proses perkuatan ini bertujuan meningkatkan momen tahanan (\square_{χ}) dan modulus penampang (\square_{χ}) sehingga profil mampu menahan beban yang lebih besar.



Gambar 2. Pola penguatan profil WF

Perencanaan Struktur Sistem ARF

Perancangan struktur sistem ARF (*Anchored Reaction Frame*) mengacu pada prinsip ASTM D1143-20 butir 8.1.6 yang menyebutkan bahwa harus merancang atau memberikan persetujuan terhadap seluruh aspek sistem pematuhan, mencakup elemen yang dibebani, rangka penyangga, tiang reaksi (apabila digunakan), instrumen, serta prosedur pematuhan. balok uji, platform beban, dan struktur penyangga harus memiliki dimensi, kapasitas, serta kekakuan yang memadai untuk mencegah terjadinya lendutan berlebihan maupun ketidakstabilan hingga beban uji maksimum yang diperkirakan. Untuk mengatasi hal tersebut perancangan ARF dilakukan dengan analisis metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*), dan SNI 1729:20. LRFD adalah metode perencanaan struktur yang digunakan dalam rekayasa sipil, khususnya untuk baja, beton, dan struktur lainnya.

Metode ini didasarkan pada konsep perencanaan berdasarkan keadaan batas, di mana beban diberikan faktor pengali $> 1,0$ untuk memperhitungkan kemungkinan beban aktual lebih besar dari beban rencana, dan kekuatan material (resistance) dikalikan dengan faktor reduksi $< 1,0$ untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam kualitas material, pelaksanaan konstruksi, dan asumsi analisis.

Perencanaan Profil Balok (Baja Transfer)

Langkah pertama adalah menentukan parameter penampang baja WF yang akan digunakan seperti tinggi profil (H), lebar sayap profil (B), tebal badan (Tw), tebal sayap (Tf), momen inersia (Ix), modulus penampang plastis (Zx), dan modulus penampang elastis (Sx) profil. Nilai Ix, Zx, dan Sx sangat penting dalam menganalisis momen lentur, tegangan lentur maksimum dan lendutan (deformasi). Syarat – syarat dalam merencanakan profil balok baja yakni Rasio tegangan lentur $M_u/(\phi M_n) \leq 1$, Rasio tegangan geser $V_u/(\phi V_n) < 1$, dan Lendutan δ terjadi $< \delta$ ijin.

Langkah selanjutnya adalah melakukan kontrol momen nominal dari beberapa aspek yakni pengaruh tekuk lokal pada flens, pengaruh lateral torsional buckling jika $R_u > \phi R_b$, maka harus dipasang stiffener (pengaku) sehingga $R_u - \phi R_b \leq A_s f_y$.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur dari jurnal dan buku untuk memperoleh dasar teori terkait permasalahan yang diteliti, dilanjutkan dengan pengumpulan data berupa beban maksimum uji yang direncanakan akan ditahan struktur serta data pile reaction. Selanjutnya disusun konsep perencanaan sistem rangka reaksi (*Anchored Reaction Frame/ARF*) dengan mempertimbangkan eksentrisitas dan tata letak elemen struktur, kemudian dilakukan analisis struktur untuk menghitung gaya, momen, dan respon beban. Profil baja yang digunakan adalah IWF gabungan sebagai elemen utama rangka, yang selanjutnya dianalisis stabilitas penampangnya terhadap momen lentur, torsi, dan lendutan. Jika penampang tidak memenuhi syarat, dilakukan modifikasi dengan penambahan stiffener atau cover plate hingga sesuai ketentuan desain. Perhitungan juga dilakukan terhadap kebutuhan tulangan tarik (rebar tension) pada sistem ARF. Hasil akhir berupa rancangan ARF yang siap digunakan untuk uji beban statis aksial, kemudian ditarik kesimpulan mengenai efektivitas desain serta diberikan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Data yang diperoleh dari proyek yang digunakan dalam penelitian sistem ARF (*Anchored Reaction Frame*) dalam uji beban statik aksial adalah sebagai berikut:

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan Tulangan Tarik Tiang Reaksi Uji Beban Statik Aksial

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, jumlah tulangan tarik tiang reaksi yang dibutuhkan dalam menahan uji beban statik aksial yang timbul dari gaya dongkrak hidrolik yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Tiang Reaksi Uji Beban Statik Aksial Sistem ARF

No.	Perhitungan Tiang Reaksi Uji Beban Statik Aksial Sistem ARF	Nilai	Satuan
1.	Dia. Tiang	1200	mm
2.	Beban uji Tekan	13200	kN
3.	Jumlah Reaction Pile Perlu	4	titik
4.	P- tarik reaction pile / tiang	3300	kN
5.	Pu- tarik reaction pile	4620	kN
6.	Mutu Baja Fy'	420	Mpa
7.	Faktor reduksi kekuatan tarik	0,9	
8.	Pn Perlu	5133	kN
9.	As Perlu	10185	mm ²
10.	Dia. Tulangan	32	mm
11.	Luas 1 batang Tul.	803,84	mm ²
12.	Jumlah Batang tulangan	13	bh. /tiang

Beban yang Bekerja pada Profil I Balok Baja Transfer

Pemodelan sistem ARF menggunakan 2 balok baja profil WF gabungan dalam menahan beban seperti yang diungkapkan pada gambar 1. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, beban - beban bekerja pada baja terbagi dari beban pikulan balok transfer bawah dan balok transfer atas seperti tabel 2 disampaikan dibawah ini:

Tabel 2. Beban pada Profil WF Balok Baja Transfer

Balok Baja Transfer	Beban ultimate ditengah P_u (kN)	L	M_u	V_u	ijin
		(m)	(kN.m)	(kN)	(cm)
Bagian Bawah	6600	7,2	11880	3300	2
Bagian Atas	6600	6,6	10890	3300	2

Balok Baja Transfer Profil WF Gabungan

a. Profil Baja WF Gabungan (Baja ASTM A36 grade 36)

Profil baja transfer bawah menggunakan beberapa profil baja WF gabungan (*section*) yang umum ada di pasaran kemudian didesain dengan profil penampang 190 x 60

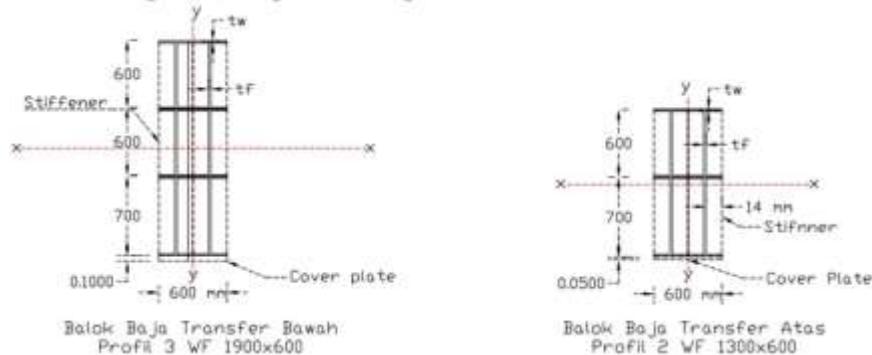
cm. Kekuatan balok baja dihitung berdasarkan parameter – parameter profil WF gabungan. Hasil analisis perhitungan balok baja profil WF gabungan, ditinjau dari kapasitas momen lentur profil balok menunjukkan bahwa terjadi defisit momen sekitar 1800 kN yang diakibatkan tekanan lokal yang terjadi akibat gaya dongkrak hidrolis, perhitungan dan analisis rasio tegangan lentur (BSR), rasio tegangan geser (SSR) dan deformasi disampaikan seperti dibawah ini:

Tabel 3. Daftar Kekuatan Balok Baja Profil WF Gabungan

WF (cm)	x (cm)	y (cm)	Ix (cm ⁴)	Wx (cm ³)	Sx (cm ³)	φM _n (kN.m)	φV _n (kN)	□ (cm)	Check		
									BSR	SSR	□
190x60	30	94	4205300	44800	27760	10080	6396	0,52	1,2 ≤ 1	0,5 ≤ 1	0,5 ≤ 2
130x60	30	64	1529200	23800	14420	5335	4430	1,2	2,0 ≤ 1	0,7 ≤ 1	1,2 ≤ 2

b. Perkuatan Profil Baja WF Gabungan sambungan *Cover Plate* dan *Stiffener*

Pemeriksaan batasan kelangsungan profil dari ketebalan flange profil setebal 24mm, bahwa profil tidak kompak ditinjau dari hasil perhitungan ini: $(\lambda_f = 12,5 \text{ mm}) < (\lambda_p = 10,8 \text{ mm}) < (\lambda_r = 28,3)$ untuk menghindari tekuk lokal dan LTB (Lateral Torsional Buckling) dilakukan alternatif penambahan sambungan pelat penutup flens (*cover plate*) dan pengekang flens (*stiffener*), dengan menambahkan *cover plate* tentu menaikkan parameter W_z (tahanan) sehingga nilai kapasitas lentur profil (ϕM_n) meningkat dan memperkecil lendutan profil. Penambahan sambungan penutup pelat pada sayap profil (*cover plate*) dan pengekang flens (*stiffener*) di area yang tertekan menjadi alternatif untuk memperbesar kapasitas dari profil.

Gambar 3. Dua balok baja profil WF gabungan sambungan *stiffener* dan *cover plate*

Penambahan sambungan cover plate di area yang tertekan menjadi alternatif untuk memperbesar kapasitas dari profil. Hasil perhitungan dan analisis rasio tegangan lentur disampaikan berikut ini:

Tabel 4. Daftar Kekuatan Balok Baja Profil WF Gabungan sambungan *Cover Plate*

+ Cover Plate (60 x 5 cm)	x (cm)	(y) (cm)	I _x (cm ⁴)	W _x (cm ³)	S _x (cm ³)	φM _n (kN.m)	φV _n (kN)	□ (cm)	BSR
WF 190x60	30	80	6456000	80500	42750	18113	6396	0,38	
WF130x60	30	52	2520400	48600	23600	10935	4430	0,7	1 ≤ 1

Karena cover plate tidak disambung sepanjang flens, maka stiffener dipasang pada badan profil untuk mencegah kerusakan akibat tegangan geser dari beban lentur. Penambahan stiffener juga menjadi alternatif untuk meningkatkan kapasitas geser profil, dengan hasil perhitungan dan analisis disajikan berikut:

Tabel 5. Daftar Kekuatan Balok Baja Profil WF Gabungan sambungan Sambungan Stiffener

Notasi	lebar bs > Vf + tw			tebal ts		Kontrol		Stiffener					ϕV_n	
	Balok	bf/3	tw/2	total	bstif	Tf/2	tstif	bs/ts	A'	Jlh	A.total	ry	λ_c	
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	Tf/2	(cm)	(cm)	(cm ²)	bh/sisi	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(kN)
190x60	10	0,7	10,7	14,0	1,2	1,5	9,3	234	15	549	16,5	0,4	11656	
130x60	10	0,7	10,7	14,0	1,2	1,5	9,3	212	15	362	16,5	0,4	7608	
untuk $0,25 < \lambda_c < 1.25$, maka $\omega = 1,06$							Syarat $R_u < \phi c * A_{total} * (F_y/\omega) = 11656 \text{ kN}$							

Kesimpulan

1. Kontribusi sambungan mekanis berupa cover plate dan stiffener dapat meningkatkan kapasitas, kekakuan, serta efektivitas distribusi beban pada baja transfer dalam sistem ARF uji statik *loading test*.
 - a. Profil baja transfer bagian bawah berukuran 1900 x 600 mm pada bentang 7,2 meter.
 - Penambahan *cover plate* berukuran 1000 x 600 mm dengan tebal 50 mm pada flens yang tertekan meningkatkan kapasitas lentur nominal baja transfer hingga 44,35%. Dengan demikian, profil baja transfer bekerja sebesar 66% dari kapasitas lenturnya, sedangkan lendutan berkang hingga 34,86%.
 - Penambahan *stiffener* dengan ukuran b-stiff = 140 mm dan t-stiff = 15 mm sebanyak 15 lembar pada masing-masing sisi badan profil meningkatkan kapasitas geser hingga 45,13%. Dengan kondisi tersebut, profil baja transfer hanya bekerja sebesar 52% dari kapasitas geser.
 - b. Profil baja transfer bagian atas berukuran 1300 x 600 mm pada bentang 6,2 m.
 - Penambahan *cover plate* berukuran 1000 x 600 mm dengan tebal 50 mm pada flens yang tertekan meningkatkan kapasitas lentur nominal baja transfer hingga 51,03%. Dengan kondisi ini, profil baja transfer bekerja tepat pada 100% kapasitas lentur atau berada pada kondisi batas (limit state), sedangkan lendutan berkang hingga 39,33%.
 - Penambahan *stiffener* dengan ukuran b-stiff = 140 mm dan t-stiff = 15 mm sebanyak 15 lembar pada masing-masing sisi badan profil meningkatkan kapasitas geser hingga 48,84%. Dengan demikian, profil baja transfer bekerja sebesar 38% dari kapasitas geser.
2. Jumlah pile reaksi yang digunakan adalah empat buah, yang berfungsi menahan gaya tarik pada sistem ARF sebesar 13.200 kN. Dengan penggunaan tulangan sebanyak 13 batang per pile, kapasitas tarik total yang diperoleh sebesar 18.480 kN, sehingga dinyatakan mencukupi untuk menahan gaya tarik yang bekerja. Dengan mempertimbangkan faktor keamanan sebesar 1,4, sistem ini memenuhi persyaratan kekuatan dan keamanan. Oleh karena itu, konfigurasi tulangan yang digunakan dapat diterima dan dinyatakan layak untuk sistem ARF (Anchored Reaction Frame) pada pelaksanaan uji beban statis aksial pile fondasi.

Daftar Pustaka

- [1] AISC. (2016). Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction.
- [2] Chen, W. F. (2000). Bridge Engineering Handbook: Superstructure Design. CRC Press.
- [3] Construction, A. I. (2019). Companion to the AISC Steel Construction Manual. AISC Volume 2: Design Tables Version 15.1.

- [4] Darmakatni. (2006). Uji Stabilitas Rancangan Anchored Reaction Frame pada Pekerjaan Loading Test Off Shore. Jurnal Aplikasi ISSN. 1907-753X.
- [5] Dina Sartika Siregar., S. P. (2020). Analisa Pengaku (Stiffener) pada Balok Baja IWF akibat Torsional Buckling. Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik UISU. ISSN: 2598-3814 (Online), 15.
- [6] Dr. N. M., Y. (2015). Strengthening Steel I-Beams by Welding Steel Plates before or While Loading. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) , 4(07).
- [7] Internasional, ASTM D1143/D1143-20. (2020). Test Methods for Deep Fondations Under Static Axial Compressive Load.
- [8] James, M. G. (2020). Mechanics of Materials (Vols. ISBN-100-534-55397-4). Cengage Learning.
- [9] Jose-Miguel Albaine, M. P. (2001). Design of Beams and Other Flexural Members per AISC LRFD 3rd Edition. PDH Course S165.
- [10] Nasional, B. S. (2020). Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. SNI 1729:2020.
- [11] Ricky, W. D. (n.d.). Analisis Perkuatan Balok Baja dengan Memperhitungkan Efek Redistribusi Momen. <https://www.researchgate.net/publication/311381078>.
- [12] Salmon, C. G. (2009). Steel Structures: Design and Behavior (5th ed.). Pearson Education.
- [13] Segui, .. W. (2013). Steel Design (5th ed.). Cengage Learning.
- [14] Taranath., B. S. (2016). Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press.