

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

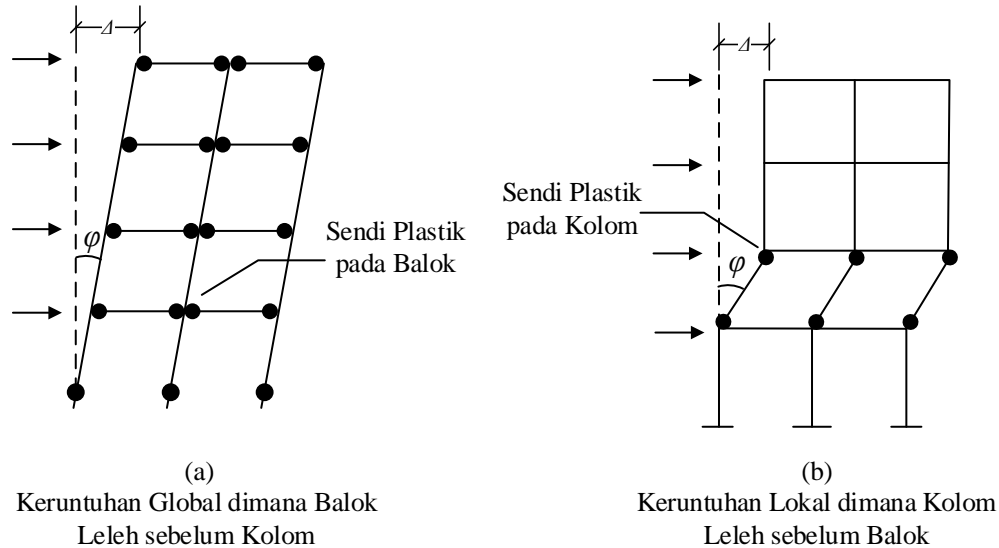
#### 1.1.1. Balok *haunch* sebagai elemen perkuatan

Indonesia berada di wilayah rawan gempa sehingga peraturan gempa harus disesuaikan mengikuti perkembangan fenomena gempa. Adanya perubahan zona peta gempa adalah bukti nyata bahwa penyesuaian tinjauan teknis terhadap beban gempa pada struktur bangunan perlu dilakukan. Syarat mutlak struktur tahan gempa harus bersifat daktail karena kriteria desain untuk struktur bangunan tahan gempa mensyaratkan bahwa struktur bangunan harus direncanakan mampu menahan beban gempa dengan periode ulang 2500 tahunan, hal ini sesuai dengan SNI gempa yang berlaku yaitu SNI 1726-2019 (BSN, 2019a). Peraturan gempa Indonesia ini mendasarkan beban gempa untuk didesain sebagai gempa kuat (Budiono *et al.*, 2017; Imran dan Hendrik, 2016; Perceka *et al.*, 2013).

Berdasarkan konsep yang melatarbelakangi standar SNI apabila terjadi gempa kuat maka elemen-elemen struktur bangunan tertentu diperbolehkan mengalami plastifikasi sebagai sarana untuk pendisipasian energi gempa yang diterima oleh struktur, akan tetapi struktur tidak boleh runtuh (Arfiadi, 2014; Imran dan Hendrik, 2010; Moehle *et al.*, 2008). Struktur daktail harus didukung oleh elemen-elemen struktur yang daktail pula karena elemen struktur dengan daktilitas yang tinggi mampu mempertahankan kekuatannya setelah mengalami deformasi inelastik (Paultre *et al.*, 2000; U. K. Sharma *et al.*, 2007). Agar mekanisme disipasi energi yang terjadi bersifat daktail maka pada lokasi yang dipilih sebagai tempat pendisipasian energi harus diberi *detailing* penulangan yang memenuhi syarat teknis.

Elemen struktur yang dipilih sebagai tempat untuk pendisipasian energi pada Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah balok (*beam*). Elemen balok lentur dipilih karena proses plastifikasi yang terjadi pada elemen balok menghasilkan keruntuhan yang lebih daktail dibandingkan keruntuhan yang terjadi bila plastifikasi terjadi pada elemen kolom, hal ini sesuai dengan konsep “*strong column weak beam*”. Mekanisme keruntuhan pada model struktur SRPM adalah *beam mechanism* akibat beban lentur pada balok. Hal ini berlaku apabila gempa yang terjadi tidak melebihi beban gempa rencana. Pada saat gempa yang terjadi melebihi gempa rencana maka struktur akan merespons dengan pembentukan sendi plastis (*plastic hinge*) yang terjadi pada area

tumpuan balok dan kolom paling bawah dekat fondasi (*beam sway*), seperti tertera pada Gambar 1. 1. (a). Sedang perilaku *column sway* atau *soft storey* harus dihindari seperti diilustrasikan pada Gambar 1. 1 (b).

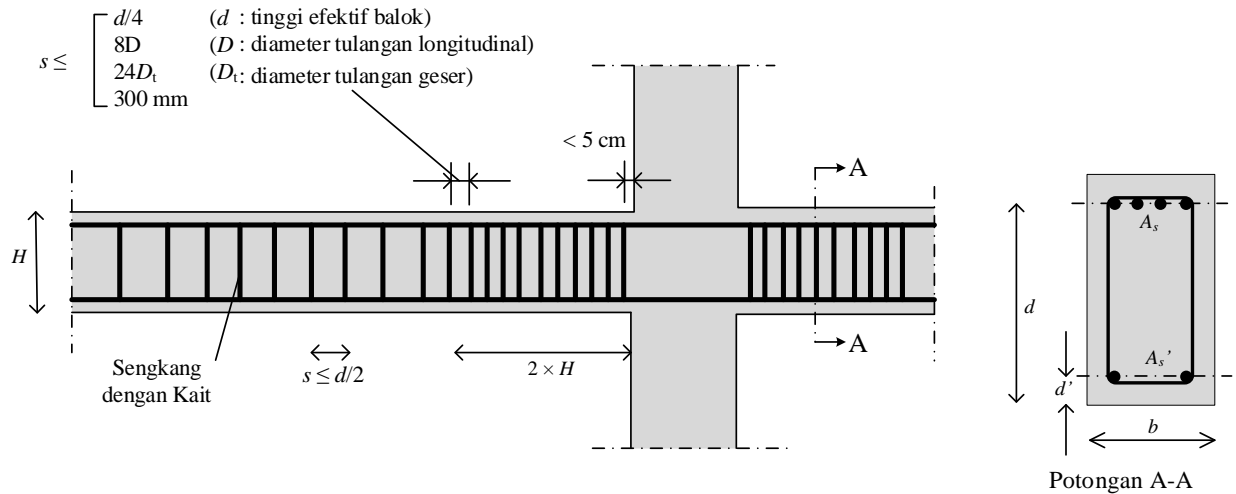


**Gambar 1. 1. Mekanisme Plastifikasi Rangka Kaku: (a) *Beam Sway* (b) *Soft Storey***

Penanganan yang dilakukan selama ini pada daerah sendi plastis pada balok adalah dengan memberikan penulangan sengkang yang lebih rapat untuk memberi efek kekangan sebagai upaya untuk meningkatkan daktilitas balok. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.4.2.4. (BSN, 2019b), mensyaratkan adanya sengkang tertutup dengan prioritas utama di daerah sendi plastis di mana sengkang harus dipasang sepanjang dua kali tinggi balok ( $2 \times H$ ) diukur dari muka kolom dengan jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari syarat yang ditentukan yaitu nilai terkecil di antara :

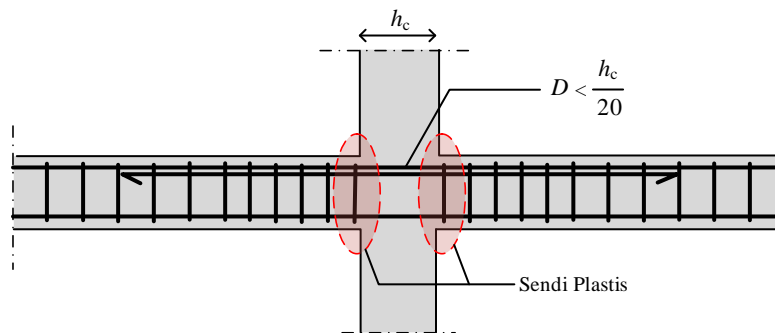
1.  $1/4$  tinggi efektif penampang balok ( $1/4 \times d$ )
2. delapan kali diameter tulangan longitudinal balok ( $8 \times D$ )
3. 24 kali diameter sengkang tertutup ( $24 \times D_t$ )
4. 300 mm.

Kaidah perencanaan penanganan daerah sendi plastis pada balok dengan memasang tulangan geser (sengkang) yang paling rapat atau nilai terkecil dari formula di atas, seperti terlihat pada Gambar 1. 2.



**Gambar 1. 2. Detail penulangan sengkang di daerah sendi plastis**

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.1. (BSN, 2019b) pada perencanaan hubungan balok kolom (HBK), gaya pada tulangan lentur balok di muka kolom dapat ditentukan berdasarkan tegangan 1.25 kali tegangan leleh ( $1.25 \times f_y$ ) tulangan longitudinal balok. Sedangkan pasal 18.8.2.3. persyaratan geometri yang harus dipenuhi pada HBK untuk SRPM adalah dimensi kolom dalam arah paralel tulangan longitudinal balok minimal harus 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar pada balok ( $20 \times D$ ).



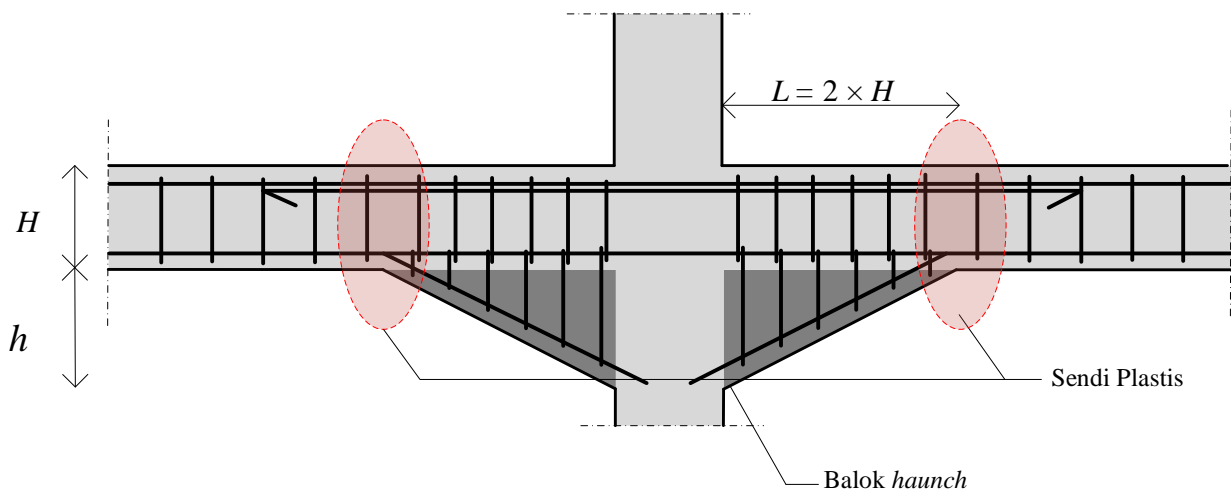
**Gambar 1. 3. Detail penulangan balok di muka kolom**

Pada struktur rangka kaku (*rigid*) di daerah HBK merupakan zona (wilayah) yang paling rawan atau kritis. Hal ini karena terjadi kombinasi tegangan lentur dan tegangan geser yang maksimum. Dengan konsep falsafah dasar perencanaan “*strong column weak beam*”, sendi plastis akan terbentuk pada balok di muka kolom (Gambar 1. 3). Akibat proses kelelahan dan pengaruh *Poisson ratio* pada tulangan tarik balok mengakibatkan lekatan (*bond*) tulangan longitudinal balok

pada HBK mengalami degradasi lekatan (*debonding*). Proses hilangnya lekatan (*debonding*) berdampak pada penurunan kekakuan pada HBK.

Kenyataan yang ada banyak ditemukan struktur bangunan khususnya bangunan beton bertulang yang perlu perkuatan (*strengthening*) akibat kesalahan dalam perencanaan (*detail engineering design*), pemberian beban yang berlebih (*overload*), dan pelaksanaan konstruksi yang salah. Realita yang ada sebagian besar struktur lama (*eksisting*) masih menggunakan filosofi perencanaan berdasarkan peraturan beban gempa lama. Sehingga sebelum terjadi gempa kuat maka balok perlu dilakukan perkuatan untuk meningkatkan kapasitas momen lentur dan geser pada elemen struktur tersebut. Untuk menunjang kegiatan perkuatan pada balok di muka kolom, diperlukan penelitian yang akurat agar dapat ditentukan langkah-langkah yang tepat.

Beberapa peneliti terdahulu seperti Akbar *et al.*, (2019, 2020), Albegmprli *et al.*, (2019), Ardiansyah (2016), Hernowo dan Lisantono (2016a), Jolly dan Vijayan (2016b), Mörsch (1909), Mufti (2008), Nghiep (2011), Tena-Colunga *et al.*, (2017b, 2008), dan Zabihi *et al.*, (2018) menyimpulkan bahwa metode perkuatan untuk meningkatkan kapasitas pemikulan momen lentur balok adalah dengan balok *haunch* beton konvensional di muka kolom. Balok *haunch* meningkatkan kapasitas momen karena momen inersia meningkat, serta merelokasi atau menggeser posisi sendi plastis (*plastic hinge*) menjauh dari bidang muka kolom (Gambar 1. 4).



**Gambar 1. 4. Balok *haunch* dari beton bertulang**

Dengan terpasangnya balok *haunch* di ujung-ujung balok maka lendutan yang terjadi pada balok akan tereduksi secara signifikan.

Hasil penelitian Thurston (1982) membuktikan bahwa penambahan balok beton bertulang *haunch* di muka kolom, meningkatkan kekakuan, kekuatan dan ketahanan struktur sehingga gejala *debonding* di HBK dapat dihindari. Daktilitas balok *haunch* akan lebih baik dibanding daktilitas balok prismatis, hal ini dikarenakan rasio tulangan ( $\rho$ ) balok *haunch* relatif lebih kecil dibanding rasio tulangan ( $\rho$ ) balok prismatis. Ardiansyah (2016) menyatakan bahwa untuk meningkatkan kekuatan struktur maka balok didesain dengan pembesaran dimensi balok *haunch* di muka kolom dengan variasi sudut *haunch* ( $\alpha$ ) sebesar  $3.07^\circ$ ;  $6.12^\circ$ ;  $9.13^\circ$  dan  $12.10^\circ$ . Pembesaran dimensi balok di muka kolom secara gradual membentuk balok *haunch* dengan sudut  $\alpha$  seperti ditunjukkan pada Gambar 1.4. Jolly dan Vijayan (2016b) melakukan analisis secara numerik membuktikan bahwa balok non prismatis (*haunched beams*) lebih daktil dan kuat dibandingkan balok prismatis. Sedangkan Priyanka *et al.*, (2017) menyatakan efek kekakuan balok *haunch* pada respons seismik dari suatu struktur dengan melakukan analisis linear statis (koefisien seismik) dan analisis linear dinamis. Tena-Colunga (1994) dan Tena-Colunga *et al.*, (2008, 2017b, 2020) menyatakan bahwa perkuatan balok di muka kolom dengan balok *haunch*, sendi plastis dapat diasumsikan terjadi sejauh sepertiga rentang tinggi efektif balok ( $d/3$ ) dari ujung *haunch*. Hasil uji eksperimen mengkonfirmasi bahwa balok *haunch* memiliki perilaku yang berbeda dibanding balok prismatis. Akbar *et al.*, (2019) menyampaikan teknik perkuatan dengan *reinforced concrete (RC) haunch* sebagai elemen kaku untuk panel hubungan balok kolom yang murah dan mudah diimplementasikan untuk struktur yang ada guna menghindari kerusakan struktur akibat aksi seismik.

Beton geopolimer berbasis *fly ash* sebagai alternatif pengganti beton konvensional mempunyai keuntungan yaitu lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan semen (*non cement based*), memiliki kekuatan tekan dan tarik yang tinggi, ketahanan terhadap serangan sulfat dan asam yang lebih baik (Ajay *et al.*, 2020; Aziz *et al.*, 2016; Karthiyaini, 2016; Kumaravel dan Girija, 2013). Beberapa sifat dasar beton geopolimer mempunyai waktu ikat awal lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton semen. Namun tingkat workabilitas beton geopolimer lebih jelek dibanding dari beton konvensional. Untuk mengatasi workabilitas beton geopolimer yang jelek maka Demie *et al.* (2011), Gülsan *et al.* (2019), Gumalang *et al.* (2016), Memon *et al.* (2013), Naganur *et al.* (2017), Nuruddin *et al.* (2011), Patel dan Shah (2018a), Rahman dan Al-Ameri (2021), C. J. Reddy dan Elavenil (2017), K. M. Reddy dan Kumar (2017a), Shivaranjan *et al.* (2016), dan Srinvas *et al.* (2019) telah menciptakan beton geopolimer yang dapat memadat sendiri

(*self compacting geopolymer concrete* – SCGC) dengan detail komposisi seperti tertera pada Tabel A terlampir.

*State of the Art* pada penelitian ini mencakup penelitian-penelitian terdahulu yang terkait sebagai perbandingan yang akan dijelaskan di Tabel 1. 1 dan Tabel A terlampir.

**Tabel 1. 1 *State of the Art* penelitian yang terkait dan kebaruan (*novelty*) penelitian**

Peneliti	<i>Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)</i>	<i>Haunch Beton Konvensional</i>	<i>Haunch Baja</i>	<i>Haunch Komposit</i>	Balok Prismatis Beton Geopolimer	<i>Haunch Beton Geopolimer</i>	Daktilitas Kurvatur / Daktilitas <i>Displacement</i>
Akbar <i>et al.</i> , (2019); Akbar, Ahmad, Rizwan, <i>et al.</i> , (2020); Al Jawahery <i>et al.</i> , (2019); Albegmprli <i>et al.</i> , (2019); Ardiansyah, (2016); Hernowo dan Lisantono, (2016); Jaafer dan Abdulghani, (2018); Jolly dan Vijayan, (2016a); Mörsch, (1909); Mufti, (2008); Nghiep, (2011); Priyanka <i>et al.</i> , (2017); Sawant dan Saudagar, (2019); Tena-Colunga <i>et al.</i> , (2008, 2017a); Thurston, (1982)	-	Pengaruh <i>haunch</i> beton meningkatkan kekakuan dan kekuatan dengan variasi sudut <i>haunch</i>	-	-	-	-	-
Y. H. Ng <i>et al.</i> , (2012); Tena-Colunga <i>et al.</i> , (2020)	-	-	-	Perilaku <i>haunch</i> komposit baja-beton	-	-	-
Dang dan Dinh, (2017); Emami <i>et al.</i> , (2020); Liu <i>et al.</i> , (2021); Marchisella <i>et al.</i> , (2021); Akanshu Sharma <i>et al.</i> , (2010, 2014); Yussuf <i>et al.</i> ,	-	-	Pengaruh <i>haunch</i> baja meningkatkan kekakuan dan kekuatan	-	-	-	-

Peneliti	<i>Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)</i>	<i>Haunch Beton Konvensional</i>	<i>Haunch Baja</i>	<i>Haunch Komposit</i>	Balok Prismatis Beton Geopolimer	<i>Haunch Beton Geopolimer</i>	Daktilitas Kurvatur / Daktilitas <i>Displacement</i>
(2020); Zabihi <i>et al.</i> , (2016, 2018)							
Albitar <i>et al.</i> , (2017); Andalib <i>et al.</i> , (2014); Dattatreya <i>et al.</i> , (2011); Devika dan Nath, (2015); Y. H. Ng <i>et al.</i> , (2012); R. Prakash, (2017); Sanni dan Khadiranaikar, (2014); Srinivasan <i>et al.</i> , (2014); Sumajouw <i>et al.</i> , (2005); Sumajouw dan Rangan, (2006); Yost <i>et al.</i> , (2013)					Uji eksperimental balok prismatis beton geopolimer		
Demie <i>et al.</i> , (2011); Gülsan <i>et al.</i> , (2019); Gumalang <i>et al.</i> , (2016); Memon <i>et al.</i> , (2013); Muttashar <i>et al.</i> , (2017); Naganur <i>et al.</i> , (2017); Nuruddin <i>et al.</i> , (2011); Patel dan Shah, (2018a); Prabhu <i>et al.</i> , (2016); Rahman dan Al-Ameri, (2021); C. J. Reddy dan Elavenil, (2017); K. M. Reddy dan Kumar, (2017a); Shivarajan <i>et al.</i> , (2016); Srinvas <i>et al.</i> , (2019)	Menciptakan <i>self compacting geopolymer concrete (SCGC)</i> berbasis <i>fly ash</i> dengan berbagai komposisi						
Purwanto (2021) Judul penelitian :	Ditemukan komposisi SCGC untuk kekuatan balok <i>haunch</i> :	Dilakukan penelitian balok prismatis dan balok <i>haunch</i>	-	-	-	Dilakukan penelitian balok balok <i>haunch</i> dengan variasi sudut	Peningkatan daktilitas <i>displacement</i> ( $\mu_{dBK}$ balok <i>haunch</i> )

Peneliti	<i>Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)</i>	<i>Haunch Beton Konvensional</i>	<i>Haunch Baja</i>	<i>Haunch Komposit</i>	Balok Prismatis Beton Geopolimer	<i>Haunch Beton Geopolimer</i>	Daktilitas Kurvatur / Daktilitas Displacement
“ <i>Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC) Haunch</i> Sebagai Perkuatan Balok Lentur di Zona Dekat Muka Kolom”	Agregat kasar 42% ; agregat halus 28% ; <i>fly ash</i> (FA) 19.5% ; <i>alkaline activator</i> (AA) 10.5% ; <i>superplasticizer</i> 2% dari FA ; <i>extra water</i> 11.7% dari binder (FA+AA) ; <i>extra cement</i> 5.77% dari binder (FA+AA). <i>Alkaline activator</i> (AA) terdiri dari NaOH 12 M dan Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> Be 52 dengan perbandingan NaOH : Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> = 1.0 : 2.5 .	beton konvensional dengan mutu beton normal ( $f'_c=31$ MPa) dengan beban monotonik				<i>haunch</i> beton geopolimer SCGC dengan mutu beton normal ( $f'_c =31$ MPa) dengan beban monotonik. Sendi plastis pada balok prismatis (BC) dan balok <i>haunch</i> BG0.5 terjadi tepat di muka kolom, sedang balok <i>haunch</i> konvensional (BK1.0) maupun balok <i>haunch</i> geopolimer (BG1.0) terjadinya sendi plastis bergeser di ujung balok <i>haunch</i> (680 mm dari muka kolom). Sendi plastis ( <i>plastic hinge</i> ) dapat bergeser pada ujung <i>haunch</i> dengan syarat minimal sudut <i>haunch</i> ( $\alpha$ sebesar 19.07° atau tinggi <i>haunch</i> ( $h$ ) minimal sebesar $0.7 \times$ tinggi balok prismatis ( $0.7 \times H$ ). Pola retak ( <i>crack pattern</i> ) balok <i>haunch</i> dan balok prismatis akibat beban monotonik menunjukkan bahwa pola retak balok prismatis dimulai dari	konvensional (BK1.0) sebesar 43.40% dan balok <i>haunch</i> geopolimer (BG1.0) sebesar 25.10% serta balok <i>haunch</i> geopolimer (BG0.5) sebesar 3.91%. peningkatan daktilitas <i>kurvatur</i> ( $\mu_{\phi BK}$ balok <i>haunch</i> konvensional (BK1.0) sebesar 46.89% dan balok <i>haunch</i> geopolimer (BG1.0) sebesar 32.03% serta untuk balok <i>haunch</i> geopolimer (BG0.5) mengalami peningkatan sebesar 7.23%.



Peneliti	<i>Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)</i>	<i>Haunch</i> Beton Konvensional	<i>Haunch</i> Baja	<i>Haunch</i> Komposit	Balok Prismatis Beton Geopolimer	<i>Haunch</i> Beton Geopolimer	Daktilitas Kurvatur / Daktilitas <i>Displacement</i>
						propagasi retak di muka kolom dan balok <i>haunch</i> di ujung <i>haunch</i> (680 mm dari muka kolom).	

Dari Tabel 1. 1 di atas dan Tabel A terlampir, terbukti bahwa mayoritas penelitian balok *haunch* terbuat dari material baja dan masih sedikit *haunch* dari beton bertulang konvensional dan sampai saat ini belum ada penelitian balok *haunch* dari beton geopolimer yang dapat memadat sendiri (*self compacting geopolymer concrete-SCGC*).

### 1.1.2. Beton *geopolymer* sebagai material *haunch*

Kesadaran konservasi lingkungan dan pengurangan imbas pencemaran akibat penggunaan material berbasis *Portland cement* (semen) telah menjadi kebutuhan mutlak. Beton geopolimer (*geopolymer concrete*) merupakan salah satu beton alternatif yang tidak menggunakan semen (*non cement based*) sebagai bahan pengikat dan sebagai gantinya digunakan abu terbang (*fly ash*) yang kaya akan silika dan alumina yang dapat bereaksi dengan cairan *alkaline aktivator* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ ) untuk menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Penggunaan *fly ash* di sisi lain memiliki dampak positif karena bahan ini merupakan limbah pembakaran batu bara. Selama ini ada kelemahan beton geopolimer segar yaitu adukan beton geopolimer mempunyai sifat kekentalan yang tinggi menyebabkan tingkat kelecakan (*workabilitas*) yang rendah sehingga mempersulit proses pengadukan campuran beton homogen dan potensial menghasilkan beton yang tidak padat karena kesulitan pemadatan (*compaction process*). Menurut Hardjito (2005), Hardjito *et al.*, (2005b, 2005a), Hardjito dan Rangan (2005), dan Ekaputri *et al.*, (2007) semakin tinggi molaritas yang digunakan dalam campuran maka pengikatan akhir berlangsung relatif lebih cepat dan jumlah air yang ada dalam campuran semakin sedikit sehingga menyebabkan beton cepat mengeras (*workabilitas* rendah). Manuahe *et al.*, (2014) menemukan nilai *slump* yang kecil pada beton geopolimer disebabkan oleh waktu pengikatan awal (*setting time*) yang terlalu cepat yang menyebabkan beton geopolimer cukup sulit untuk dicetak atau tidak *workable*.

Untuk mengatasi tingkat workabilitas yang rendah maka dalam campuran beton geopolimer ditambahkan zat aditif yaitu *super plasticizer*. Berdasarkan penelitian Jeyaseela dan Vishnuram (2015) dan Gumalang *et al.*, (2016) untuk menciptakan beton geopolimer yang mudah dikerjakan (*workable*) perlu ditambahkan jenis *additives* berupa *superplasticizer* (*Viscocrete, Masterglenium*, dan lain lain) dengan komposisi yang tepat. Bahkan dapat dibuat beton geopolimer yang dapat memadat sendiri (*self compacting geopolymer concrete – SCGC*) dengan komposisi yang tepat.

Selain ramah lingkungan, penggunaan beton geopolimer untuk balok *haunch* pada struktur balok beton bertulang memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan beton konvensional, yaitu :

1. Beton geopolimer memiliki kekuatan ikatan atau daya lekat (*bond*) yang lebih tinggi dibanding beton konvensional (Ekaputri *et al.*, 2007; Sarker, 2011).
2. Kuat tekan dan kuat tarik beton geopolimer lebih tinggi dibanding beton konvensional. (Hardjito *et al.*, 2004a, 2004c, 2004b, 2005b; Sumajouw *et al.*, 2005; Sumajouw dan Rangan, 2006; Wallah dan Rangan, 2006)

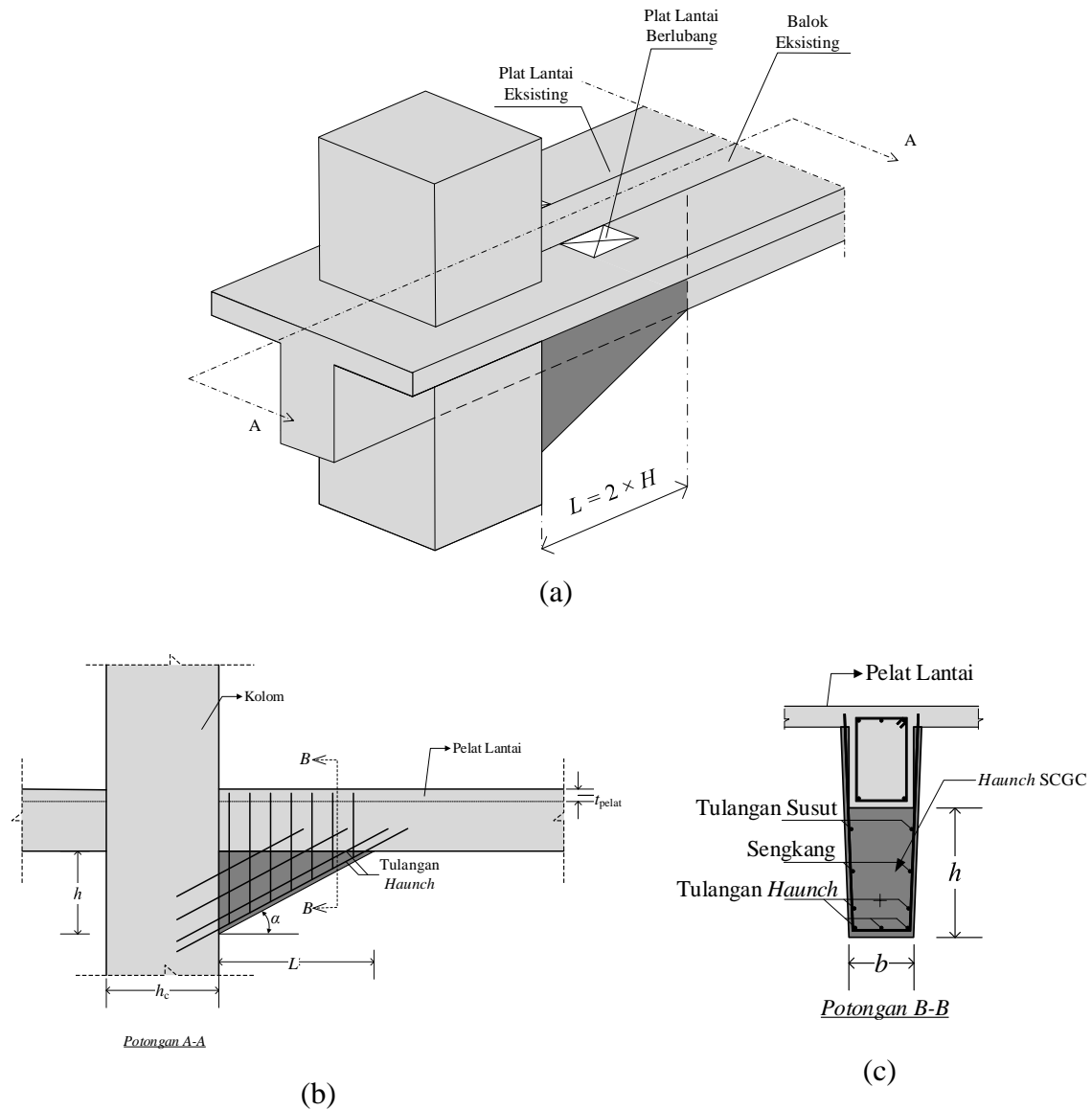
Keunggulan adanya balok *haunch* sebagai upaya perkuatan (*strengthening*) balok lentur di muka kolom dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Menggeser posisi letak sendi plastis (*plastic hinge*) menjauh dari muka kolom di tempat momen yang lebih kecil dari pada momen di muka kolom. Keuntungan terjadinya sendi plastis menjauh dari muka kolom adalah menghindari penetrasi kelelahan tulangan di HBK dan terjadinya sendi plastis tertunda karena terletak pada daerah dengan momen yang lebih kecil.
2. Balok *haunch* memperbesar penampang dan kekakuan (*EI*) penampang ( $I_{haunch} > I_{prismatis}$ ) sehingga kapasitas momen dan geser balok meningkat.
3. Balok *haunch* memiliki kurvatur balok ( $\varphi = \frac{M}{EI}$ ) yang lebih kaku.

Berdasarkan uraian pada latar belakang dan tinjauan *state-of-the-art* dalam bidang ini maka hipotesis dalam penelitian ditentukan sebagai berikut :

1. Metode perkuatan (*strengthening*) untuk meningkatkan kapasitas pemikulan momen lentur balok dengan balok *haunch* di muka kolom akan meningkatkan kapasitas momen karena momen inersia meningkat serta merelokasi atau menggeser posisi sendi plastis menjauh dari bidang muka kolom.

2. Untuk pelaksanaan perkuatan balok di muka kolom perlu menggunakan beton geopolimer yang dapat memadat sendiri (*self compacting geopolymer concrete - SCGC*), hal ini mengingat perkuatan balok di muka kolom mempunyai tingkat kesulitan pelaksanaan dan keterbatasan ruang yang sempit akibat keberadaan pelat dan balok eksisting.



**Gambar 1. 5. Detail metode pelaksanaan perkuatan balok di muka kolom dengan SCGC (a) Perspektif (b) Potongan memanjang (c) Potongan melintang**

Penggabungan konsep perkuatan (*strengthening*) balok di muka kolom menggunakan balok *haunch* dengan pemanfaatan *self compacting geopolymer concrete* (SCGC) mempunyai manfaat ganda.

## 1.2. Identifikasi Masalah

Sesuai uraian di latar belakang penelitian di atas maka identifikasi masalah pada penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Definisi struktur bangunan tahan gempa adalah struktur yang pada saat terjadi gempa kuat mampu berdeformasi besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Agar struktur mampu berdeformasi besar maka struktur bangunan dituntut harus bersifat daktail.
2. Struktur yang daktail harus didesain sesuai konsep “*strong column weak beam*” dengan terciptanya sendi plastis direncanakan terjadi pada balok.
3. Agar proses disipasi energi dapat berlangsung dengan baik maka sendi plastis pada balok harus berperilaku daktail yaitu dengan kemampuan berotasi yang cukup besar pasca leleh.
4. Diidentifikasi bahwa perkuatan (*strengthening*) balok di muka kolom dengan menggunakan balok *haunch* SCGC akan meningkatkan kapasitas momen dan menggeser letak sendi plastis (*plastic hinge*) menjauh dari muka kolom.
5. Diharapkan perkuatan (*strengthening*) balok *haunch* dengan menggunakan beton geopolimer yang memiliki karakteristik modulus elastisitas ( $E$ ), lekatan (*bond*) serta mutu kuat tekan dan kuat tarik yang lebih baik dari beton konvensional sehingga dapat lebih optimal.

## 1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan di atas, maka permasalahan yang berkaitan dengan perkuatan (*strengthening*) balok di muka kolom menggunakan balok *haunch* dari beton geopolimer yang dapat memadat sendiri (SCGC), dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana komposisi material *self compacting geopolymer concrete* (SCGC) untuk perkuatan balok *haunch*?
2. Apakah perbedaan antara balok *haunch* SCGC dengan balok *haunch* konvensional dalam perilaku perkuatan balok di muka kolom?
3. Bagaimana peningkatan kapasitas penampang dan reduksi lendutan balok *haunch* terhadap balok prismatis?
4. Bagaimana pengaruh daktilitas *displacement* balok *haunch* terhadap balok prismatis?
5. Bagaimana pengaruh daktilitas kurvatur balok *haunch* terhadap balok prismatis?
6. Apa pengaruh balok *haunch* dan balok prismatis terhadap pergeseran sendi plastis (*plastic hinge*) akibat beban monotonik?

7. Berapakah ketinggian balok *haunch* optimum yang diperlukan untuk menggeser sendi plastis (*plastic hinge*) menjauh dari muka kolom?
8. Bagaimana pola retak (*crack pattern*) balok *haunch* dan balok prismatis akibat beban monotonik?
9. Apakah alat bantu FEMA (*finite element method analysis*) dapat memodelkan dan mensimulasikan perilaku balok *haunch*?

#### **1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menemukan komposisi material *self compacting geopolymer concrete* (SCGC) untuk perkuatan balok *haunch*.
2. Mencari dan menganalisis perbedaan antara balok *haunch* SCGC dengan balok *haunch* konvensional dalam perilaku perkuatan balok di muka kolom.
3. Menganalisis peningkatan kapasitas beban ( $P$ ) dan reduksi lendutan ( $\Delta$ ) dari balok *haunch* terhadap balok prismatis.
4. Menganalisis perilaku daktilitas *displacement* ( $\mu_d$ ) balok *haunch* dibandingkan balok prismatis.
5. Menganalisis perilaku daktilitas kurvatur ( $\mu_\phi$ ) balok *haunch* dibandingkan balok prismatis.
6. Menganalisis pengaruh balok *haunch* dan balok prismatis terhadap pergeseran sendi plastis (*plastic hinge*) akibat beban monotonik.
7. Memformulasikan ketinggian balok *haunch* minimum yang diperlukan untuk menggeser sendi plastis (*plastic hinge*).
8. Menjelaskan perilaku pola retak (*crack pattern*) balok *haunch* dan balok prismatis akibat beban monotonik.
9. Memodelkan, menganalisis, dan mensimulasi balok *haunch* dengan menggunakan alat bantu model FEMA.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini maka dilakukan batasan-batasan penelitian sebagai berikut:

1. Batasan penelitian pada uji eksperimental skala laboratorium dengan benda uji elemen struktur beton bertulang difokuskan untuk elemen lentur tanpa aksial dengan beban monotonik.
2. Penelitian ini tidak meng-cover kasus *double curvature* akibat beban gempa tetapi konsentrasi penelitian hanya memperhitungkan kurvatur tunggal (*single curvature*) akibat beban gravitasi.
3. Mutu beton konvensional dan beton geopolimer SCGC yang digunakan pada penelitian ini adalah mutu beton normal ( $f'_c = 31$  MPa) dengan kaidah perencanaan tulangan balok *under reinforced*.
4. Balok *haunch* tersusun dari beton geopolimer dengan bahan dasar *fly ash* kelas F yang dapat memadat sendiri.
5. Berat sendiri struktur (balok, kolom, dan balok *haunch*) tidak diperhitungkan baik pada uji eksperimental maupun pada model.

#### **1.6. Kontribusi dan Kebaruan (*Novelty*) Penelitian**

Berdasarkan evaluasi terhadap *state-of-the-art* dalam bidang ini maka kontribusi dan kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini adalah:

1. Solusi baru, praktis, efektif, dan ramah lingkungan terhadap kebutuhan peningkatan (*performance enhancement*) kapasitas pemikulan, daktilitas, perilaku kekakuan, dan deformasi elemen lentur dalam sebuah rangka kaku beton bertulang menggunakan *haunch* dari bahan beton geopolimer.
2. Inovasi beton geopolimer yang memenuhi kaidah memadat sendiri (*self compacting geopolymer concrete* - SCGC) sehingga memiliki tingkat *flowability*, homogenitas, workabilitas tinggi tanpa terjadinya segregasi sehingga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan elemen tipis dengan konfigurasi rumit.
3. Mengajukan solusi teknis dan memformulasikan tentang alternatif penanganan perkuatan (*strengthening*) balok di muka kolom berupa balok *haunch* yang terbuat dari beton geopolimer yang dapat memadat sendiri (*self compacting geopolymer concrete* – SCGC).
4. Dari hasil uji eksperimental terhadap empat (4) jenis benda uji ditemukan dan diusulkan formulasi besarnya ketinggian efektif balok *haunch* (*h*) sehingga terjadinya sendi plastis akan bergeser menjauh dari muka kolom.